

Noora-Maria Keitaanpää

JÄTEVEDENPUHDISTAMON ILMASTUKSEN OHJAAMINEN  
AMMONIUMTYPEN MÄÄRITYKSELLÄ

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma  
2017

# JÄTEVEDENPUHDISTAMON ILMASTUKSEN OHJAAMINEN AMMONIUM-TYPEN MÄÄRITYKSELLÄ

Keitaanpää, Noora-Maria

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2017

Työn valvoja: laboratorioanalyttikko Johanna Rinne, laitospäällikkö Ismo Lindfors, Porin Vesi

Työn ohjaaja: lehtori Timo Hannelius, SAMK

Sivumäärä: 43

Liitteitä: 9

Asiasanat: jätevesi, ammonium, typenpoisto

---

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin jätevedenpuhdistamon ilmastuksen ohjauksen muuttamisen kannattavuutta happipiperusteisesta ohjauksesta ammoniumtyyppipiperusteiseen ohjaukseen. Opinnäytetyö tehtiin Porin Vesi -liikelaitokselle Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon käyttötarkoituksiin.

Työssä keskityttiin pääasiallisesti jätevedenpuhdistuksen ilmastusprosessiin typenpoiston tapahtuessa tässä puhdistusprosessin vaiheessa. Olettamuksina pidettiin ammoniumtyyppipiperusteisen ohjauksen parantavan puhdistustuloksia ja vähentävän ilmastuskustannuksia.

Kokeellisessa osiossa tutkittiin Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon ilmastusaltaan ammoniumtyyppipitoisuuksia ja ioniselektiivisen anturin luotettavuutta käytössä. Ammoniumtyyppipiperusteisen ohjauksen vaikutuksia ilmastuksen kustannussäästöihin arvioitiin.

Työn tuloksena todettiin anturin olevan käytössä luotettava oikeanlaisella ylläpidolla ja huollolla. Anturien hankinta ja ilmastuksen ohjausperiaatteen muutos tuottaisi mitä ilmeisimmin taloudellista hyötyä Luotsinmäellä.

# CONTROL OF AERATION IN WASTE WATER TREATMENT PLANT BY DETERMINATION OF AMMONIUM NITROGEN

Keitaanpää, Noora-Maria

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

May 2017

Supervisor: Laboratory Analyst Johanna Rinne, Plant Director Ismo Lindfors, Porin Vesi

Instructor: Lecturer Timo Hannelius, SAMK

Number of pages: 43

Appendices: 9

Keywords: waste water, ammonium, nitrogen removal

---

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to find out if it is profitable for a waste water purification plant to invest in ammonium sensors and control aeration based on concentration of ammonium ions rather than based on concentration of oxygen in aeration pools. The thesis was carried out for Porin Vesi's waste water purification plant in Luotsinmäki.

The main focus of this thesis was on aeration in a waste water purification plant as nitrogen removal takes place in this part of the process. Ammonium concentration based control of aeration was assumed to improve the results gotten during purification and to decrease costs from aeration.

In the experimental part of the thesis ammonium concentrations in aeration and reliability of an ion selective sensor in use were under observation. Results of using ammonium concentration based control presented in literature were used as reference in the estimation of economical savings in Luotsinmäki waste water purification plant.

As a result the sensor was discovered to be reliable with proper service and maintenance. Based on the practical results received in another Finnish waste water purification plant, it was estimated that purchasing these sensors and changing the aeration principle in Luotsinmäki is also economically profitable.

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	YHDYSKUNTAJÄTEVESI.....	7
2.1	Koostumus .....	7
2.2	Jäteveden laatu .....	8
2.3	Vaikutukset .....	8
2.3.1	Typpi .....	9
2.3.2	Fosfori .....	9
2.4	Hapenkulutus .....	10
2.4.1	Biokemiallinen hapenkulutus .....	10
2.4.2	Kemiallinen hapenkulutus .....	10
3	JÄTEVEDENPUHDISTUS .....	12
3.1	Esikäsittely .....	12
3.2	Esiselkeytyks.....	12
3.3	Aktiivilietekäsittely - Ilmastus .....	13
3.3.1	Biokemialliset reaktiot.....	14
3.3.2	Hapetus-pelkistysreaktiot .....	15
3.3.3	Typpireaktiot .....	15
3.4	Aktiivilietekäsittely - Jälkiselkeytyks.....	16
3.5	Flotaatio .....	17
4	LUOTSINMÄEN JÄTEVEDENPUHDISTAMO .....	18
4.1	Prosessikuvaus .....	19
4.1.1	Esikäsittely .....	19
4.1.2	Aktiivilietekäsittely - Ilmastus .....	20
4.1.3	Typpenpoisto .....	21
4.1.4	Hapentarve .....	21
4.1.5	Aktiivilietekäsittely - Jälkiselkeytyks.....	22
4.1.6	Flotaatio .....	22
4.2	Analyysituloksia .....	23
4.2.1	BOD -reduktio .....	23
4.2.2	Typpireduktio .....	24
4.2.3	Ongelmakohtia .....	25
5	KOKEELLINEN OSUUS - AMMONIUMTYPEN MÄÄRITYS .....	27
5.1	Lähtötilanne .....	27
5.2	Anturi .....	27
5.3	Koejärjestelyt .....	28
5.4	Mittaustulokset.....	29

5.5	Haasteet.....	34
5.6	Tulosten analysointi .....	35
6	ILMASTUKSEN SÄÄTÄMINEN – CASE TURUN KAKOLANMÄKI.....	37
7	LAITEHANKINNAN KANNATTAVUUS .....	39
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	41
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää jätevedenpuhdistamon ilmastuksen säätämisen taloudellisia hyötyjä laitteistoa päivittämällä. Samalla pyrittiin mahdollisimman hyviin puhdistustuloksiin ammoniumtypen osalta. Työ tehtiin tilaustyönä Porin Vesi -liikelaitokselle marraskuun 2016 ja huhtikuun 2017 välillä.

Porin Vesi on kunnallinen liikelaitos, joka aloitti toimintansa vuonna 1935. Toiminta-ajatuksena liikelaitoksella on tuottaa palvelunsa kilpailukykyiseen hintaan ympäristöystävällisesti ja odotukset ja toiveet täyttäen. Se vastaa toiminta-alueellaan veden hankinnasta, käsittelystä ja jakelusta sekä jätevesien puhdistamisesta ja viemäroinnistä. Porin alueelle puhdasvesi toimitetaan Harjakankaan tekopohjavesilaitokselta. Suurin osa toiminta-alueen vedenkäyttäjistä kuuluu kunnalliseen viemäriverkkoon. Verkon ulkopuolelle jäävien haja-asutusalueiden jätevedenpuhdistus suoritetaan pienpuhdistamojen avulla. (Porilainen Vesiopas 2014, 6.)

Tarkempaa huomiota jätevedenpuhdistamon toiminnan osalta kiinnitettiin ilmastukseen ja ammoniumtyppeen näiden ollessa työn ja sen ymmärrettävyyden kannalta oleelliset aihealueet.

Ilmastusaltaan ilmaa on syötetty aikaisemmin ilmastusaltaan happipitoisuuden mukaan lohkoissa 3–6. Aiemmissa lohkoissa käytetään myös käsisäätöä. Työn tarkoituksena oli selvittää laitokselle hankitun Endress Hauserin ammoniumtyppianturin mitausluotettavuutta ja tarkkuutta. Tavoitteena on säätää ilmamäärää anturin tulosten perusteella.

Työn kokeellinen osuus tehtiin talven 2016–2017 aikana mittaamalla ammoniumtypen määrää Porin Veden Luotsinmäen keskuspuhdistamolla sijoittamalla ammoniumtyppianturi ilmastusaltaan eri osiin lohkoihin 3, 4, 5 ja 6. Mahdolliset taloudelliset ja puhdistustuloksiin positiivisesti vaikuttavat tulokset kannustaisivat uuden anturilaitteiston hankintaan vanhan analysaattorin tilalle. Tässä opinnäytetyössä käsitellään myös hankinnan kannattavuutta ja toiminnasta saatavia säästöjä.

## 2 YHDYSKUNTAJÄTEVESI

Jätevedet koostuvat viemäriverkostoon liittyneiden talouksien, teollisuuden ja maatalouden vesistä. Viemäriverkostoon kulkeutuu myös hulevettä sade- ja sulamisvesistä sekä mahdollisesti vuotovesiä riippuen verkoston kunnosta. Talouksien ja teollisuuden jätevedet eroavat toisistaan koostumukseltaan teollisuuden jätevesien sisältäessä usein myös raskasmetalleja. (Isoaho & Valve 1988, 113–114.)

### 2.1 Koostumus

Jätevedenpuhdistamolle tuleva jätevesi sisältää orgaanista, biologisesti hajoavaa ainesta, jonka määrää mitataan biologisen hapenkulutuksen (BOD) ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD) määrittämisellä. Jätevedessä on myös ravinteita eli typpi- ja fosforiyhdisteitä. Typpi on sitoutuneena muun muassa elintarvikkejäämiin proteiinina tai saniteettiveden ureana eli virtsa-aineena ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ). Fosfori esiintyy pääosin liukoisena fosfaattina ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), jota käytetään pyykinpesuaineissa. Kiintoainetta on aina mukana jonkin verran samoin kuin saniteettivesien mukana tulevaa bakteerimassaa, joka on patogeenista, esimerkiksi koliformisia bakteereja. Erikseen jätevedestä analysoidaan ravinnepitoisuudet; typen ja fosforin määrä.

Teollisuuden mukana jäteveeseen kulkeutuu orgaanisen aineksen lisäksi muun muassa raskasmetalleja, mutta myös muita käytettävästä prosessista riippuvia aineksia, kuten kemikaaleja. Raskasmetalleja, hiekkaa ja öljyjä huuhtoutuu myös hulevesien mukana. (Isoaho & Valve 1988, 113–114.) Maatalouden arvioidaan aiheuttavan Suomessa yli puolet vesistöihin kohdistuvasta ravinnekuormituksesta (Suomen ympäristökeskus SYKE 2015). Kotitalouksien viemäreihin joutuva ruokajäte, wc-jätteet ja pesuvedet jaetaan kahteen vesijakeeseen; harmaa vesi sisältää talouksien pesuvesiä ja musta vesi wc:stä huuhdottuja vesiä (Suomen Vesiensuojeluyhdistysten Liitto ry n.d.).

Jätevesilaitoksen on toimittava ympäristölupansa mukaisesti. Raja-arvot annetaan:

- Ravinteille: typpi (N) ja fosfori (P)
- BOD-kuormalle
- COD-kuormalle
- Kiintoaineelle

Kunkin jätevedenpuhdistamon ympäristölupa määrittelee puhdistamokohtaiset raja-arvot.

## 2.2 Jäteveden laatu

Yhdyskunnan vedenkäyttäjien elintaso ja paikallinen teollisuus toimivat vaikuttavina tekijöinä jäteveden laatuun. Elintason noustessa myös vedenkulutus lisääntyy, esimerkiksi Suomessa käytetään talousvettä n. 160 l henkilöä kohti vuorokaudessa. Pesuaineiden käyttö on huomattavissa puhdistamolle sisään tulevasta jätevedestä. Käyttöveden lisäksi sadevesi, sulamisvesi ja teollisuusvesi sekä niiden koostumukset vaikuttavat veden laatuun. Laatu vaihtelee myös vuoden- ja vuorokaudenajan mukaan; sääolosuhteet ja käyttöaste muuttuvat. Vedenkäyttö on yleensä suurinta päiväsaikaan iltapäivällä, jolloin käyttö kotitalouksissa lisääntyy. (Määttä 1977, 102–103.) Laadunvaihtelu on vähäisempää viemärointialueen ollessa laaja, mutta pitkät verkostot vaikuttavat jätevedenpuhdistamolla aiheuttaen vaihesiirron tulevan veden virtaamaan. Tällöin iltapäivän korkeampi vedenkulutus näkyy puhdistamolla vasta myöhemmin. (Määttä 1977, 109, 111).

## 2.3 Vaikutukset

Yhdyskuntien jätevedet lukeutuvat viiden suurimman vesistökuormittajan joukkoon Suomessa (Suomen ympäristökeskus SYKE 2017). Ihmisen tuottamat jätevedet aiheuttavat vesistöön päästessään happikatoa ja rehevöitymistä sekä orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden pitoisuuksien kohoamista (Karttunen & Tuhkanen 2003, 73). Rehevöityminen järkyttää luonnon monimuotoisuutta eliölajien elinympäristöjen muuttuessa niille epäsopiviksi. Kosmeettisia haittavaikutuksia ovat veden ulkonäön ja hajun muuttuminen epämiellyttäviksi. Edellä oleva tapahtuu siinä tapauksessa, että yhdyskuntien jätevesiä ei puhdisteta tehokkaasti.



### 2.3.1 Typpi

Rehevöitymistä aiheuttava typpi mitataan jätevedestä sekä kokonaistyyppinä että ammoniumtyyppipitoisuutena. Tyyppipitoiset yhdisteet reagoivat muuttuen hapettavassa ympäristössä nitriiteiksi ( $\text{NO}_2^-$ ) ja edelleen nitraateiksi ( $\text{NO}_3^-$ ), jotka voivat pelkistyä hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa takaisin ammoniumiksi ( $\text{NH}_4^+$ ) ja ammoniakiksi ( $\text{NH}_3$ ).

Ammoniakki esiintyy NTP-olosuhteissa kaasumaisessa olomuodossa, joka liukenee veteen helposti aiheuttaen emäksisen liuoksen ja mätänemisprosessista tunnistettavan hajun. Vesistöön päästessään ammoniakki on suurina pitoisuuksina vaarallinen vesiorganismeille ja kaloille. Esimerkiksi myrkyllisyyttä kuvaava  $\text{LC}_{50}$  -arvo kaloille neljän vuorokauden altistuksessa on 0.28 mg/l (Ammoniakin kansainvälinen kemikaalikortti). Nitriitti on typpiyhdiste, joka on ammoniakin hajoamisen tulos. Ammoniakki hapettuu helposti nitriitiksi, joten veden nitriittipitoisuus kertoo sen kontaminoitumisesta. Nitriittiä esiintyy myös maaperässä typpiyhdisteiden hapettua. Nitraatiksi nitriitti hapettuu jätevedenpuhdistamon biologisen prosessin aikana aerobisissa olosuhteissa, mutta muutoin sitä ei jätevesissä tavallisesti esiinny. Jätevesistä tai maaperästä peräisin olevaa nitraattia esiintyy kuitenkin sekä pinta- että pohjavesissä. (Karttunen & Tuhkanen 2003, 220–221).

### 2.3.2 Fosfori

Fosforin vesiliukoiset yhdisteet ovat suurin rehevöitymisen aiheuttaja. Jäteveden vaikutuksia arvioitaessa myös fosfori määritetään kokonaisfosforina, sillä se esiintyy useina eri yhdisteinä. Fosfori esiintyy jätevedessä tavallisimmin fosfaattina ( $\text{PO}_4^-$ ) orgaanisten aineiden hajoamistuloksena. (Karttunen & Tuhkanen 2003, 219–220). Eri-  
muotoiset polyfosfaatit jätevesissä ovat peräisin pesuaineista, joissa niitä käytetään estämään pesuveden kalkkisaostumista. Erityisesti juuri polyfosfaatit aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä. (Karttunen & Tuhkanen 2003, 235.)

## 2.4 Hapenkulutus

Kokeellisesti voidaan mitata jäteveden biologista konsentraatiota ja orgaanisten aineiden ominaisuuksia. Orgaanisen aineksen hajotessa kaksivaiheisesti voidaan näitä ominaisuuksia selvittää kahdella eri tavoin. Hiilivetyjen biokemiallisesta hajoamisesta kertoo jäteveden biokemiallinen hapenkulutus, kun taas kemiallinen hapenkulutus kertoo toisen hajoamisvaiheen typpipitoisten yhdisteiden hajoamisesta. (Karttunen & Tuhkanen 2003, 239–240.)

### 2.4.1 Biokemiallinen hapenkulutus

Biokemiallinen hapenkulutus (BOD, engl. Biochemical Oxygen Demand) kertoo veden sisältämien orgaanisten aineiden kuluttaman happimäärän näiden hajotessa biologisesti aerobisissa olosuhteissa standardiajassa ja -lämmössä. Yleensä käytössä on BOD<sub>7</sub>, jolloin näytteessä jäljellä oleva happi mitataan seitsemän vuorokauden jälkeen näytteen oltua tasaisessa +20 °C:n lämpötilassa.

Veden lämpötilanvaihtelut vaikuttavat BOD-arvoon siten, että lämpötilan noustessa arvo kohoaa. Jäteveden sisältäessä biologisia toimintoja estäviä aineita tai erityisen paljon orgaanista ainetta, esimerkiksi teollisuusvesistä, voi BOD-määrittäminen vertailukelvoton, eikä luotettavia tuloksia saada. Usein eri laboratorioiden toteuttamat testit tuottavat eriäviä tuloksia. Myös typen yhdisteet aiheuttavat virhettä analyysiin, sillä kutakuinkin viidennen analyysipäivän jälkeen nitrifikaatio aiheuttaa typpi-yhdisteiden hapettumisen ja veden hapenkulutuksen, jolloin happea kuluu enemmän edellä mainittujen reaktioiden johdosta. Tämä voidaan kuitenkin estää nitrifikaation inhibiittoreilla, joiden käytön merkintänä esitetään ATU. (Karttunen & Tuhkanen 2003, 239–240.)

### 2.4.2 Kemiallinen hapenkulutus

Orgaanisen aineen määrää jätevedessä voidaan selvittää myös vahvaa hapetinta käyttämällä. Tällöin tutkitaan, kuinka paljon hapetinta kuluu orgaanisen aineen hapettumiseen. Kulunut määrä suhteutetaan vastaamaan happimäärää, joka olisi tarvittu orgaanisen aineen hajottamiseen. Tätä kutsutaan kemialliseksi hapenkulutukseksi (COD,

engl. Chemical Oxygen Demand). Tutkimuksen kaksi yleisesti käytössä olevaa menetelmää ovat kaliumpermanganaattimenetelmä ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) ja dikromaattimenetelmä ( $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ). (Karttunen & Tuhkanen 2003, 240.)

COD-testi ei vastaa luonnossa tapahtuvaa hajoamista, mutta soveltuu BOD-testiä paremmin teollisuuden jätevesille, sillä se ei häiriinny suuresta orgaanisen aineen määrästä. Hyvänä puolena todettakoon myös testin nopeus suhteessa BOD-testin toteuttamiseen, joka vaatii seitsemän vuorokautta. (Karttunen & Tuhkanen 2003, 241.)

### 3 JÄTEVEDENPUHDISTUS

Jätevesiä voidaan käsitellä mekaanisesti, biologisesti ja kemiallisesti. Biologinen puhdistus perustuu orgaanisten aineiden ja typen poistoon, kun taas kemiallinen puhdistus perustuu fosforin saostamiseen kemikaalien avulla. Mekaanisella puhdistuksella erotetaan kiinteää ainetta. Esikäsittelyn ja pääkäsittelyn lisäksi puhdistusta voidaan tehostaa jälkikäsittelyllä.

#### 3.1 Esikäsittely

Tulevasta jätevedestä on ensin poistettava suuremmat kiintoaineet, jotka voivat aiheuttaa prosessiin ongelmia myöhemmin. Tähän käytetään veden mekaanista siivilöintiä eli välppäystä. Välppät voivat olla metalliverkkoja tai metalliritoilaita.

#### 3.2 Esiselkeytys

Esiselkeytys perustuu vettä tiheämpien osalajien sedimentoitumiseen eli laskeutumiseen tiheyseron vaikutuksesta. Laadullisesti sedimentointia kuvaa Stokesin laki (1). Partikkelit, joiden halkaisija on pienempi kuin 1 mikrometri, laskeutuvat hyvin hitaasti. Partikkelihalkaisijan kaksinkertaistuessa laskeutumisnopeus nelinkertaistuu Stokesin lain mukaan.

$$v = \frac{g \cdot (\rho_p - \rho_w) \cdot d_p^2}{18 \cdot \eta_w} \quad (1)$$

jossa

- $v$  = laskeutumisnopeus, m/s
- $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys =  $9.81 \text{ m/s}^2$
- $\rho_p$  ja  $\rho_w$  = partikkelin ja veden tiheydet vastaavasti,  $\text{kg/m}^3$
- $d_p$  = partikkelin halkaisija, m
- $\eta_w$  = veden viskositeetti, kg/ms

Esiselkeytyksessä on heikko sekoitus eli hämmennys, joka pitää pohjalietteen pienessä liikkeessä, jolloin se on paremmin poistettavissa. Alitetta poistetaan jatkuvasti. Esiselkeytyksen viiveajan tulee olla riittävä.

### 3.3 Aktiivilietekäsittely - Ilmastus

Ilmastuksessa veteen johdetaan runsaasti ilmaa kompressoreilla, jolloin osa hapesta liukenee. Ilmastuksessa olevat aerobiset bakteerit käyttävät tätä liuennutta happea orgaanisen aineksen eli BOD-kuorman hajottamiseen ja omaan kasvuunsa. Anaerobiset bakteerit eivät tarvitse happea toimintoihinsa, vaan käyttävät energianaan orgaanista ainesta. BOD alenee tässä selvästi; esimerkiksi Luotsinmäen keskuspuhdistamolla päästään nykyisin jopa 99 prosentin alenemaan. Ilmastuksen aikana tarkoituksena on siis saada orgaaninen aines poistumaan mahdollisimman tehokkaasti, samalla ammoniumionit hapettuvat esimerkiksi typpikaasuksi ja jopa nitraateiksi. Orgaaninen aines poistuu vedestä ennen typpeä.

Sopivan happipitoisuuden löytäminen ilmastusaltaassa on tärkeää sekä toiminnan että taloudellisen järkevyyden takaamiseksi. Ilmastuksen hapellisen osion aikana veden happamuus muuttuu alhaisemmaksi ja hapettoman osion aikana korkeammaksi. Suuret happamuuden muutokset vedessä häiritsevät bakteerien toimintaa saattaen jopa aiheuttaa kannan kuoleman. Veden pH:ta voidaan säädellä esimerkiksi kalsiumhydroksidilla ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) tai hapoilla. Myös veden lämpötila vaikuttaa voimakkaasti puhdistukseen.

Henryn laki ilmaisee hapen liukenemisen veteen kaavan (2) mukaisesti. Syötettävän hapen lisäksi myös ilman happea liukenee veteen.

$$c = k_H * p_o \quad (2)$$

jossa  $c$  = kaasun konsentraatio vedessä, mg/l

$k_H$  = kaasulle ominainen lämpötilasta riippuva Henryn vakio, mg/l \* bar

$p_o$  = kaasun osapaine ilmassa, bar

Ilmastusta voidaan käyttää varsinaisen ilmastuksen lisäksi esi-ilmastuksessa sekä jälki-ilmastuksessa. Esi-ilmastuksella voidaan vaikuttaa myöhempään flokkiintumiseen, redox-potentiaaliarvoon ja hiekan erottumiseen parantavasti sekä tasoittaa veden laatuvaihteluja ja poistaa ylimääräisiä kaasuja. Jälki-ilmastuksessa lisätään hapen määrää jätevedessä. (Määttä 1977, 137.)

### 3.3.1 Biokemialliset reaktiot

Ilmastuksessa bakteerit käyttävät veteen liuennutta happea ja orgaanista ainesta ravinteenaan muuntaen ne muun muassa hiilidioksidiksi ja vedeksi. Osa hiilestä sitoutuu bakteerikantaan ja poistuu näin kierrosta. Bakteerit aikaansaavat BOD-reduktiota edellä mainittujen reaktioiden johdosta.

Veden happimäärän tulee olla optimaalinen hyvän tuloksen varmistamiseksi. Mikäli tulevassa jätevedessä ei ole riittävästi ravinteita, esimerkiksi teollisuuden jätevedet, on niitä lisättävä veteen. Ravinnekemikaalin tulee olla vesiliukoinen. Bakteerit sitovat hiiliyhdisteiden lisäksi myös fosforia ja typpeä rakenteeseensa. Bakteerien keskimääräinen kuiva-ainekoostumus nähdään taulukosta 1.

Taulukko 1. Bakteerien kuiva-ainekoostumus (Hannelius 2015).

Hiili (C)	50 %
Happi (O)	22 %
Typpi (N)	12 %
Vety (H)	9 %
Fosfori (P)	2 %
Muut	5 %

Veden lämpötilan laskeminen vaikuttaa bakteerien toimintaan ja reaktionopeuteen hidastavasti. Nitrifikaation optimilämpötila on 28–32 °C, mutta vasta yli 45 °C ja alle 4 °C lämpötiloissa nitrifikaatio estyy kokonaan. Veden lämmitessä siis myös denitrifi-

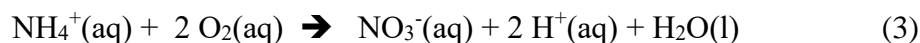
kaatio tehostuu niin nitrifikaatio- kuin denitrifikaatiobakteerienkin lisääntyessä. Denitrifikaatiota tehostaa myös hapen heikompi liukeneminen lämpimään veteen sekä käytettävissä olevan ravinnon määrä. (Pellikka 2007, 15.)

### 3.3.2 Hapetus-pelkistysreaktiot

Laitoksen happipitoisissa eli aerobisissa vyöhykkeissä ammonium ja ammoniakki hapettuvat ilmastusmäärästä riippuen nitriiteiksi ja edelleen nitraateiksi. Nämä yhdisteet pelkistyvät hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa uudestaan ammoniakiksi ja ammoniumiksi. Osa pelkistyy jopa alkuainetypeksi ( $N_2$ ) anaerobisissa vaiheissa. Typpikaasu poistuu prosessista ilmaan. Tämä on typenpoiston päätavoite.

### 3.3.3 Typpireaktiot

Typpiyhdisteiden hapettumista kutsutaan nitrifikaatioksi, joka tapahtuu reaktioyhtälön (3) mukaisesti. Ammonium hapettuu ensin nitriitiksi ja sitten ylimäärähapen vaikutuksesta lopulta nitraatiksi, katso reaktioyhtälö (3). Samalla vesi happamoituu.

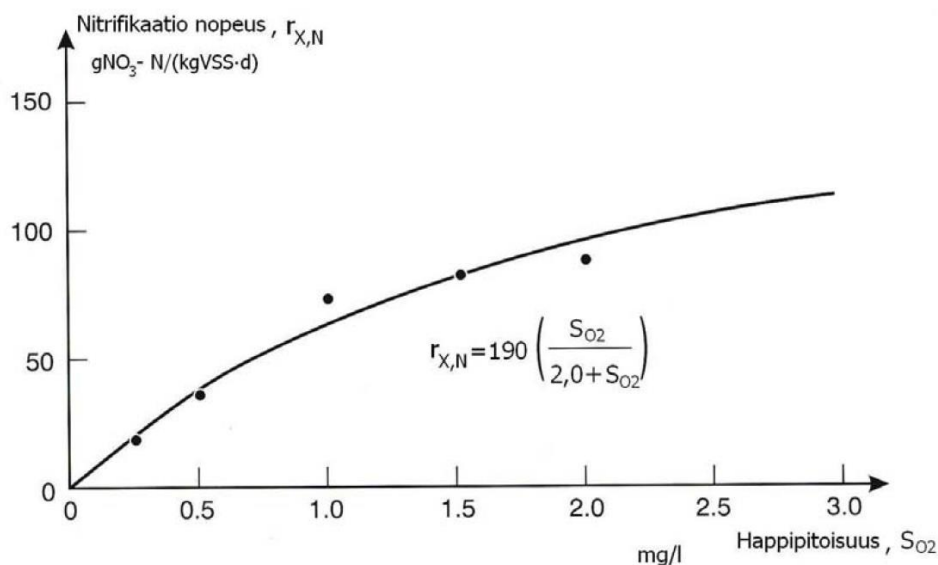


Nitrifikaation hapentarve päivässä lasketaan yleisesti kaavan (4) mukaisesti.

$$O = 4.6 * C_N * Q \quad (4)$$

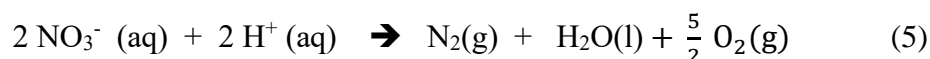
jossa  $O$  = hapentarve, kg/d  
 $C_N$  = typpimäärä, kg/m<sup>3</sup>  
 $Q$  = virtaama, m<sup>3</sup>/d

Kuvasta 1 on nähtävissä veden happipitoisuuden vaikutus nitrifikaation tehoon. Käyrän nähdään alkavan tasoittua pitoisuuden 1.0 mg/l jälkeen.



Kuva 1. Happipitoisuuden vaikutus nitrifikaatiotehoon (Henze et al. 2002, 234).

Vastaavasti denitrifikaatio tapahtuu anaerobisissa, pelkistävissä olosuhteissa, jolloin muodostunut nitraatti pelkistyy ensin nitriitiksi ja sitten veden pH:sta riippuen ammoniumiksi tai ammoniakiksi. Anaerobiset bakteerit, esimerkiksi Clostridia, käyttävät pääosin nitraattia hapen sijasta aineenvaihdunnassaan, jolloin osa typpiyhdisteistä pelkistyy alkuainetypeksi asti reaktioyhtälön (5) mukaisesti.



Laitokselta lähtevä puhdistettu jätevesi sisältää aina pieniä määriä eri typpiyhdisteitä, esimerkiksi ammoniumia.

### 3.4 Aktiivilietekäsittely - Jälkiselkeytyks

Jälkiselkeytyksessä jäteveden kiintoaines laskeutetaan altaan pohjalle polymeerin avulla. Polymeeri aiheuttaa irtonaisten partikkelien kokoontumisen suuremmiksi partikkeliryppäiksi. Tätä kutsutaan flokkiintumiseksi. Yksittäisiä partikkeleja raskaamat flokit laskeutuvat altaan pohjalle. Jälkiselkeytyksestä laskeutunut liete ohjataan taaksepäin prosessissa ilmastusaltaalle, jossa se lisää prosessissa tarvittavaa kiintoainetta ja ravinteita. Kirkas vesi johdetaan joko vesistöön tai jälkikäsittelyyn.



### 3.5 Flotaatio

Flotaatiovaiheessa vedessä jäljellä olevia hiukkasia nostetaan altaan pinnalle ilmakuplien vaikutuksesta. Pinnalle kertynyt liete kaavitaan pois, ja viimeistään tässä vaiheessa kirkas vesi puretaan vesistöön. Flotaatiota ei ole aina välttämätöntä käyttää jätevedenpuhdistuksessa.

## 4 LUOTSINMÄEN JÄTEVEDENPUHDISTAMO

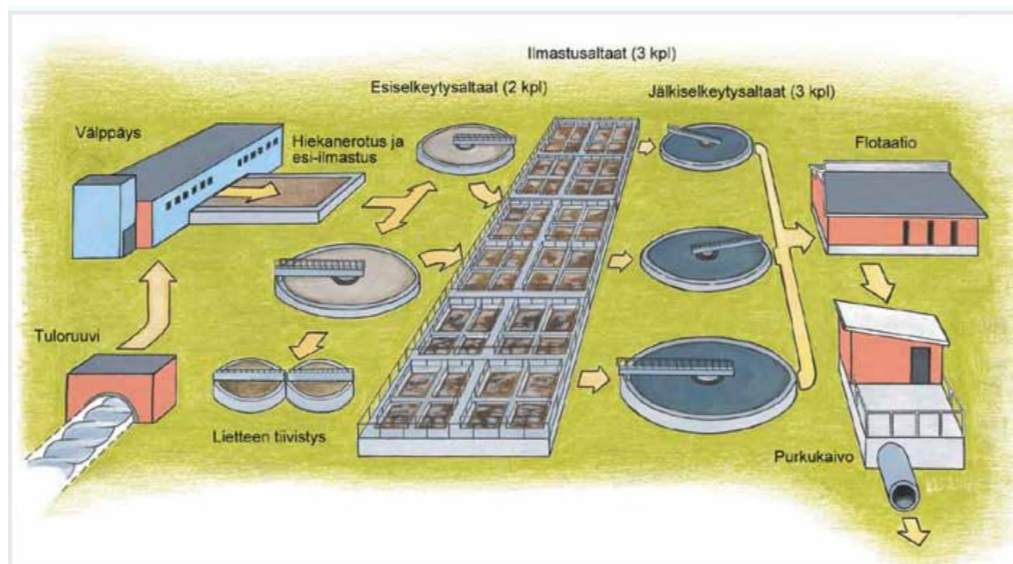
Luotsinmäen keskuspuhdistamolla käsitellään Porin alueen jätevesien lisäksi myös Ulvilan, Harjavallan, Luvian, Nakkilan ja Euran Kiukaisten alueen sekä Suominen Kuitukankaat Oy:n vedet (Porilainen Vesiopas 2014, 20). Pienemmät puhdistamot sijaitsevat Ahlaisissa, Laviällä ja Reposaaressa, ja niiden puhdistuskapasiteetti on huomattavasti pääpuhdistamoa pienempi. Vuonna 2016 pumpattiin Luotsinmäelle 10 554 370 m<sup>3</sup> jätevettä, kun muille puhdistamoille saapui jätevettä yhteensä 293 011 m<sup>3</sup> (Porin Vesi toimintakertomus 2016, 8). Taulukosta 2 on nähtävissä vuonna 2016 Luotsinmäelle tulleen jäteveden pitoisuuksia sekä puhdistustulos, joka on ollut huippuluokkaa. Kokonaistyyppipitoisuus laitokselle tulevassa jätevedessä oli tasolla 40-60 mg/l ja poistuvassa vedessä noin 10 mg/l.

Taulukko 2. Porin Vesi Oy:n Luotsinmäen jätevedenpuhdistamolle tulevan ja sieltä lähtevän jäteveden koostumuspitoisuuksien keskiarvoja neljännesvuosittain vuonna 2016 (VAHTI-valvontatietojärjestelmä 2017).

Laitos	Parametri	Näyte-kohta	1/2016	2/2016	3/2016	4/2016
Porin Vesi, Luotsinmäki, jätevedenpuhdistamo (jvp)	Ammonium-typpe mg/l	Tuleva	33,29	29,38	35,23	38,46
		Vesistöön	0,42	0,05	0,02	8,56
	BOD 7 ATU mg/l	Tuleva	462,14	461,54	614,62	577,69
		Vesistöön	3,96	3,72	3,09	3,49
	COD, dikromaatti mg/l	Tuleva	841,43	898,46	1 054,62	1 080,77
		Vesistöön	41,07	39,46	40,64	45,15
	Kiintoaine mg/l	Tuleva	323,57	350,77	434,62	411,54
		Vesistöön	3,81	3,64	2,37	4,66
	Kokonaisfosfori mg/l	Tuleva	6,57	7,23	8,78	8,55
		Vesistöön	0,07	0,07	0,05	0,08
	Kokonaistyyppi mg/l	Tuleva	48,43	46,08	58,62	57,77
		Vesistöön	7,56	6,43	7,59	13,89

## 4.1 Prosessikuvaus

Kaikilla Porin Veden puhdistamoilla jätevesien käsittelyssä on käytössä biologis-kemiallinen prosessi. Tuleva jätevesi johdetaan tulopumppaamon kautta esikäsitteilyyn ja esiselkeytykseen, joista edelleen aktiivilietekäsittelyyn ja jälkikäsitteilyyn eli flotaatioon. (Niemelä 2008, 18.) Purkukaivosta puhdistettu vesi johdetaan Kokemäenjokeen. Luotsinmäellä käytössä on denitrifikaatio-nitrifikaatio -prosessiin (DN-prosessi) perustuva kokonaistypenpoisto. Fosforin saostuksessa käytetään ferrisulfaattia ja floataatiossa fosforin ja kiintoaineen saostuksessa polymeeriä. (Porin Vesi toimintakertomus 2016, 8.) Kuva 2 esittää Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon selkeytettyä ilmakuvaa prosessista.



Kuva 2. Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon selkeytetty toimintakaavio (Porilainen Vesiopas 2014, 19).

### 4.1.1 Esikäsitteily

Hienovälillä erotetaan karkein kiintoaines jäteveden saapuessa puhdistamolle. Hiekka erotetaan, ja jätevesi esikäsitellään esi-ilmastuksessa. Ferrisulfaattia ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) lisätään esi-ilmastukseen saostamaan fosforia. Karkea kiintoaines kerätään ruuvikuljettimen avulla välppälavalle, ja poistettu hiekka kulkeutuu hiekanlajittimen kautta hiekkalavalle, joista ne edelleen johdetaan hyötykäyttöön. Esiselkeytykseen

käytetään kahta esiselkeytysallasta, joissa on kaapimet. Esiselkeyttimistä saatu liete sakeutetaan ja poistetaan selkeyttimistä. (Niemelä 2008, 19.)

#### 4.1.2 Aktiivilietekäsittely - Ilmastus

Esiselkeytyksen jälkeen vesi johdetaan aktiivilietekäsittelyyn, joka on tärkein prosessivaihe. Ilmastuksen jälkeen palautetaan niin sanottua kierrätyslietettä ilmastoinnin alkuvaiheisiin, joihin ei lisätä ilmaa. Tätä kutsutaan nitraattikierrätykseksi, sillä denitrifikaation vaatimaa orgaanista ainesta ja nitraattia kierrätetään hapettomiin olosuhteisiin. Ilmastuksen jälkeen veteen myös lisätään aktiivilietteen laskeutumista edistäviä kemikaaleja, ja osa aktiivilietteestä, eli niin sanottu ylijäämäliete, palautetaan takaisin esi-ilmastukseen laskennallisen lieteiän täytyttyä. Lieteikä lasketaan prosessissa olevan ja prosessista vuorokauden aikana poistettavan kiintoaineen suhteena kaavan (6) mukaisesti.

$$\text{Lieteikä} = \frac{V_{ia}}{Q_y} \quad (6)$$

jossa  $V_{ia}$  = ilmastusaltaan tilavuus, m<sup>3</sup>

$Q_y$  = ylijäämälietteen poistotilavuus vuorokaudessa, m<sup>3</sup>/d

Muodostunut ylijäämäliete pumpataan ilmastuksen ja jälkiselkeytyksen välistä takaisin laitoksen alkuun. Välittömästi ilmastuksen jälkeen lisätään veteen ferrisulfaattia saostamaan fosforia.

Orgaaninen aines ja ammoniumtyppi hapetetaan ilmastusaltaissa, joihin ilmaa syötetään lohko kohtaisesti. Lohkoja 1 ja 2 sekoitetaan jatkuvasti, lohkoja 3 ilmastuksen ollessa poissa päältä ja lohkoja 7 aina. Muissa lohkoissa sekoitusta ei ole. Jälkiselkeytysaltaassa pohjalle laskeutunut liete palautetaan takaisin ilmastuksen alkuun palautuslietteenä kaapimien kerättyä lietteen lietetaskuun. (Niemelä 2008, 19–20, 22.)

Luotsinmäen puhdistamolla on käytössä kuusi ilmastusallasta syvyydeltään 5,0 metriä ja tilavuudeltaan 3 650 kuutiometriä. Jokainen allas on jaettu kuuteen lohkoon; kaksi

ensimmäistä lohkoa ovat hapettomia, kolmas hapellinen tai hapeton sääolosuhteiden mukaan ja kolme viimeistä allasta hapellisia. Ilmastusaltaan seitsemäs, pieni lohko on hapeton, ja siitä pumpataan kierrätyslietettä takaisin prosessiin. Sekoitus tapahtuu lohkoissa yksi, kaksi, kolme ja seitsemän. (Niemelä 2008, 7.)

Ilmastusaltaiden ilmastimet ovat kalvotyyppisiä hienokuplapohjailmastimia, jotka käyvät HST-kompressoreilla, joiden tuottoalue on 2 600–6 000 nm<sup>3</sup>/h. Lohkoissa 1, 2, 3 ja 7 estetään lietteen laskeutuminen altaan pohjaan sekoittimien avulla ilmastuksen puuttuessa. (Niemelä 2008, 9.)

#### 4.1.3 Typenpoisto

Aktiivilieteprosessin aikana typpeä poistetaan denitrifikaatio-nitrifikaation ja lietteen seen sitoutumisen avulla vain jäteveden omaa hiilisisältöä käyttäen. Esiselkeytyksen aikana teoreettisesti laskettuna enimmillään 40 prosenttia tulevan veden sisältämästä tpeestä sitoutuu aktiivilietteen mikrobien soluihin, ja ilmastukseen edetessään se poistuu ylijäämälietteen mukana prosessista. (Niemelä 2008, 4, 7).

Jotta nitrifikaatio onnistuu, tulee ilmastusaltaassa happipitoisuuden olla riittävän suuri. Denitrifikaatio tapahtuu ilmastusaltaan anaerobisessa vyöhykkeessä, jossa happea ei lisätä prosessiin. Seitsemännän lohkon kierrätysliete johdetaan takaisin ensimmäiseen lohkoon, jotta nitraattipitoisen lietteen määrä maksimoidaan ja mahdollistetaan denitrifikaatio. Teoreettisesti päästään korkeintaan 75 prosentin typpireduktioon laskemalla yhteen kierrätysliete ja palautusliete, mutta puhdistamon hyvällä BOD:typpi -suhteella 100:13 voidaan saavuttaa jopa 10 prosenttia korkeampia arvoja. (Niemelä 2008, 4, 9–10.) Taulukosta 2 voidaan laskea typpireduktion olleen vuonna 2016 parhaimmillaan jopa 87 prosenttia ja huonoimman vuosineljänneksen aikana 76 prosenttia.

#### 4.1.4 Hapentarve

Prosessiin syötettävä happimäärä lasketaan käyttäen laskennassa tulevan veden BOD-kuormaa, laskennallista lietepitoisuutta, nitrifioituvaa typpeä sekä veden omaa happipitoisuutta (Niemelä 2008, 8). Ilmastuksen liuenneen hapen vaihtelualue on 1.5–4.0

mg/l ja asetusarvo on 2.0 tai 2.5 mg/l riippuen ilmastettavasta lohkosta. Ilmastuksen määrää säädetään happimittauksen perusteella, jolloin happipitoisuus toimii pääsäätöarvona ja virtaava ilmamäärä säädetään venttiileillä happipitoisuuden asetusarvon saavuttamiseksi. Hapen pitoisuus pyritään pitämään vakiona, jolloin happea on usein jopa ylimäärin prosessin toimivuuden kannalta. Ylimäärä happea haittaa denitrifikaatiota, joka tapahtuu hapettomissa olosuhteissa.

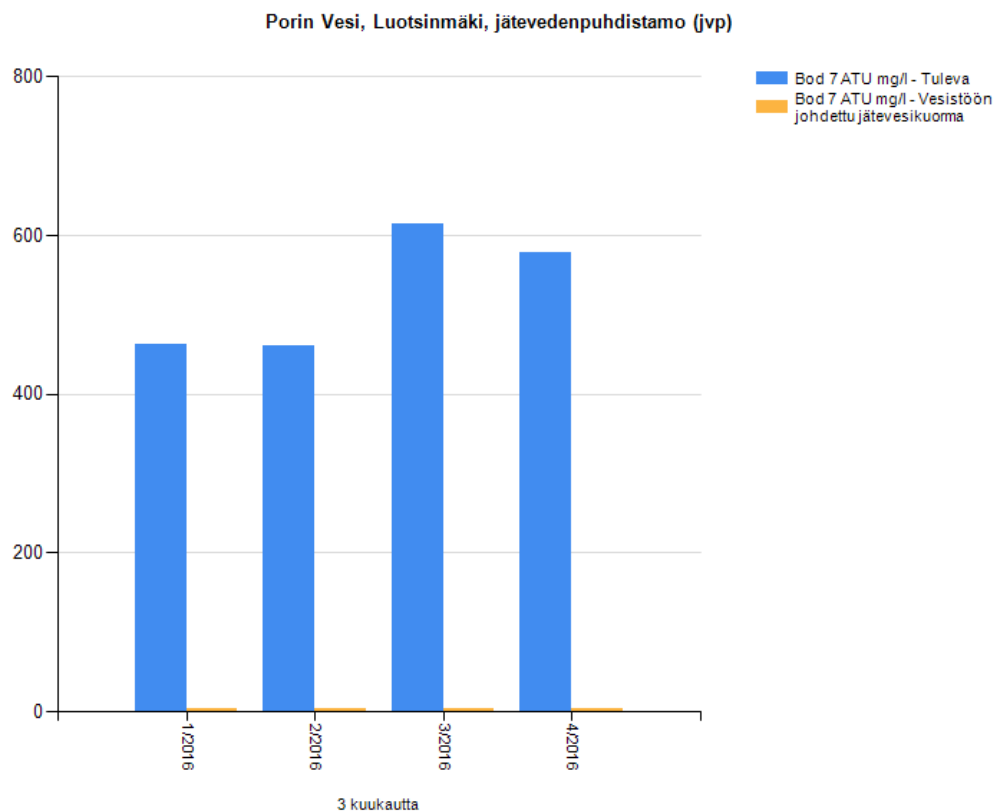
#### 4.1.5 Aktiivilietekäsittely - Jälkiselkeytys

Ilmastuksen jälkeen bakteerimassaa sisältävä aktiiviliete laskeutetaan jälkiselkeyttimessä. Veteen lisätään ferrisulfaatin lisäksi laskeutumista edistävää polymeeriä ennen veden saapumista jälkiselkeytykseen. Jälkiselkeyttimen pohjalta erotetaan niin sanottu palautusliete takaisin ilmastuksen alkuvaiheisiin. Selkeyttimen kirkas ylite johdetaan vielä nostopumppaamon kautta flotaatiovaiheeseen.

#### 4.1.6 Flotaatio

Flotaatiossa veteen lisätään saostuskemikaalina käytettävää ferrisulfaattia ja polymeeriä fosforinpoiston tehostamiseksi. Jäännösepäpuhtaudet nousevat kemikaalien vaikutuksesta syntyneiden ilmakuplien mukana pintaan. Pinnalle kertyvä liete kaavitaan pois, ja altaan pohjaosan puhdas vesi lasketaan purkukaivon kautta puhdistamon ohitse virtaavaan Kokemäenjokeen. Liete kuivataan ja jatkokäsitellään hyötykäyttöön. Kuvassa 3 nähdään Luotsinmäen prosessikaavio, jossa esitetään muun muassa kemikaalien lisäyspisteet.



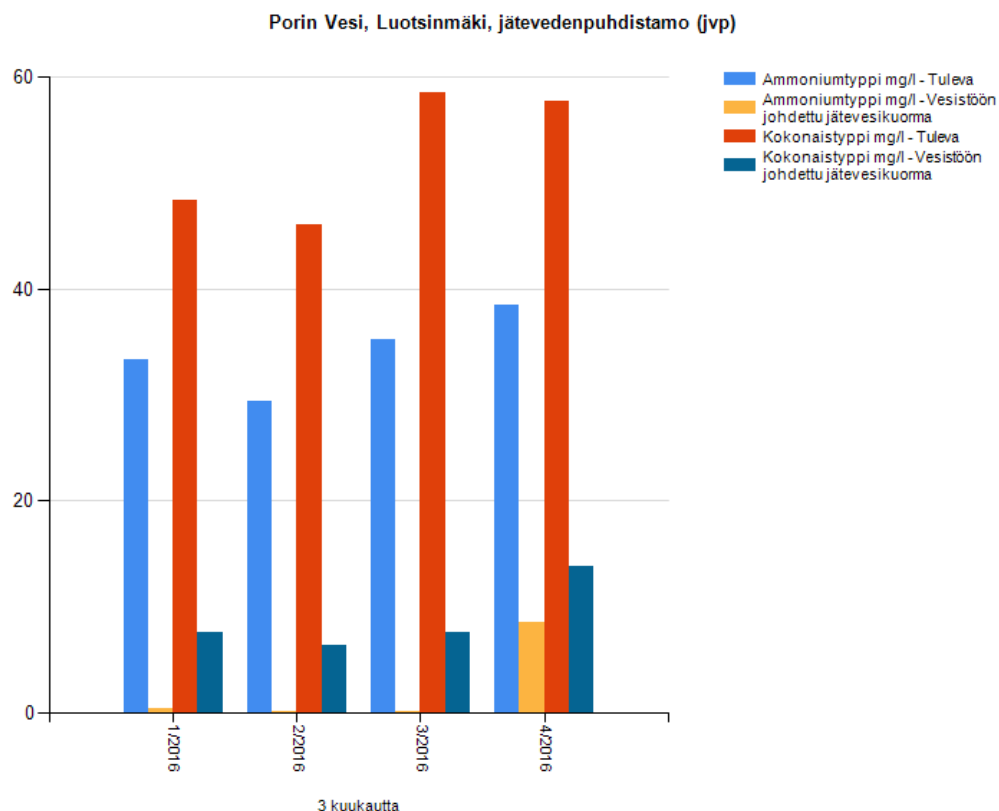


Kuva 4. Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon puhdistustuloksia BOD:n osalta keskiarvoina neljännesvuosittain vuonna 2016 (VAHTI-valvontatietojärjestelmä 2017).

#### 4.2.2 Typpireduktio

Kuvasta 5 nähdään laitokselle tulevan ja laitokselta lähtevän veden kokonaistyyppi- ja ammoniumtyyppipitoisuudet vuonna 2016. Tulevan veden kokonaistypestä noin  $\frac{2}{3}$  esiintyy ammoniumionina ja  $\frac{1}{3}$  lähinnä orgaanisena typpinä. Ammoniumtyppi on saatu poistettua lähes kokonaan prosessin aikana vuoden kolmella ensimmäisellä neljänneksellä. Ammoniumtyypin suhde kokonaistyyppien pienentyy huomattavasti prosessin aikana, ja myös kokonaistypen poiston nähdään olevan toimivaa. Prosentuaalisesti kokonaistyyppireduktio voidaan laskea taulukosta 2. Huonoimmillaan reduktio oli viimeisellä vuosineljänneksellä, jolloin se oli 76 prosenttia. Vuoden kaksi viimeistä kuukautta olivat huonoja typpireduktion kannalta. Viimeinen vuosineljännes laskeekin vuosikeskiarvoa 83 prosenttiin. Parhaimmillaan reduktio oli tasolla 87 prosenttia. Toiminta sujui kuitenkin ympäristöluvan rajoissa.





Kuva 5. Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon puhdistustuloksia ammoniumtypen ja kokonaistypen osalta keskiarvoina neljännesvuosittain vuonna 2016 (VAHTI-valvontatietojärjestelmä 2017).

#### 4.2.3 Ongelmakohtia

Yhtenä jätevedenpuhdistamon haasteena on vaihteleva jäteveden laatu. Puhdistusprosessia tulee mukauttaa tarpeen ja mahdollisuuksien mukaan. Huomattavan suuret pi-toisuudet, esimerkiksi typen tai BOD:n osalta, sekoittavat prosessia. Tulevan jäteveden ennustettavuus on miltei mahdotonta, ja prosessia ajetaan kulloistenkin ajantasais-ten mittausten mukaan. Myös vuorokausisykli ja jäteveden saapumisviive hankaloit-tavat ennustettavuutta.

Kylminä vuodenaikoina veden lämpötilan laskemisen aiheuttama bakteerien toiminnan hidastuminen vaikuttaa puhdistustulokseen ja prosessin käyntiin. Bakteerien toiminnassa hitaasti tulee lieteikää nostaa. Ympäristön lämpötila aiheuttaa muutoksia liukenevan hapen määrään siten, että kylmissä lämpötiloissa happea liukenee enemmän.

Laiterikkojen sattuessa on prosessin ajaminen hankalaa, ja korjaustöitä on tehtävä. Laitokselle tulevan jäteveden määrä ei pienene, vaikka kalustoa rikkoutuisi. Näin ollen vajaalla kapasiteetilla ajo tuottaa vaikeuksia, eivätkä puhdistustulokset välttämättä yllä normaaliin tasoon. Usein heikompi puhdistustulos on kuitenkin vain väliaikaista, ja normaalisti hyvin toimivalla puhdistamolla ympäristölupaan asetetut rajat eivät ylity, sillä rajat ovat neljännesvuosikohtaisia kaikelle lukuun ottamatta typpeä, jonka rajat ovat vuosikohtaisia.

## 5 KOKEELLINEN OSUUS - AMMONIUMTYPEN MÄÄRITYS

### 5.1 Lähtötilanne

Ammoniumtypen pitoisuutta prosessissa seurataan puhdistamolta ulos johdettavasta vedestä sekä analysaattorin että laboratoriotutkimusten avulla sekä puhdistamolle tulevast jättevedestä, jotta saadaan selville suoritettun puhdistuksen teho. Eksakteja pitoisuusrajoja ammoniumtypelle ei ole määritelty ympäristöluvassa toisin kuin kokonaistypelle, jonka määrään ammoniumtypen pitoisuus vedessä vaikuttaa.

Mikäli ammoniumtypen määrä laitokselta poistuvassa vedessä on korkea, on selvitetävä, missä prosessin vaiheessa ongelmia typen poistossa ilmenee. Tämä suoritetaan manuaalisesti laboratoriotutkimuksilla, ja tilanne korjataan säätämällä ilmastusta ongelmakohdassa. Anturin hankinta ilmastuksen eri lenkkeihin poistaisi tämän tarpeen, sillä anturin mittaama ammoniumtyypipitoisuus ohjaisi hapensyöttöä automaattisesti. Ohjaus mukautuu ammoniumtyypipitoisuuden perusteella automaattisesti jopa vuorokausisyklin mukaan.

Aluehallintovirasto on antanut viimeisimmässä ympäristölupapäätöksessään Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon käsittelemän jäteveden kokonaistypen vuosikeskiarvopitoisuusrajaksi 12 mg/l ja puhdistuksen vähimmäistehoksi 70 prosenttiyksikköä. Vähimmäisteho lasketaan puhdistamolle saapuvan virtaaman kokonaistyyppireduktiona. Annetut raja-arvot perustuvat vuosien 2011–2012 puhdistamolle tulleen kuorman määrään. (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 12.3.2015. Dnro 147/04.08/2013)

### 5.2 Anturi

Porin Veden tekemän tarjouspyynnön perusteella puhdistamolle tilattiin Endress Hau-serin ioniselektiivinen anturi ISEmax CAS40D. Anturi lähettää jatkuvaa dataa mitattavista ioneista suoraan tutkittavasta vedestä ilman tarvetta erilliseen käsittelyyn tuloksien saamiseksi. Anturin ja lähettimen sekä näytön lisäksi on mahdollista tilata ja asentaa puhdistin anturille, mutta tässä selvityksessä päätettiin toimia ilman puhdis-

tinta, sillä tavoitteena oli selvittää laitteiston hankinnan kannattavuutta koko puhdistamon prosessiin aluksi vain yhden anturin avulla. Anturin sijoittelu ilmastusaltaaseen sekä tuki että vastusti puhdistimen käyttöä, mutta säännöllisesti toteutettava puhdistus vähensi tarvetta itse puhdistimelle.

Anturin toiminta perustuu ionivalikoivan elektrodin käyttöön. Tutkittavalle ionille herkkä ionikalvo mittaa ionin liikkeitä ja siirtymistä referenssielektrodilta ionivalikoivalle elektrodille. Referenssielektrodilla vallitsee tasajännite. Ionien siirtyessä sähkövaraus elektrodien sisällä muuttuu, jolloin syntyy jännite, jota verrataan referenssielektrodin tasajännitteeseen. Syntyvä jännite on suhteellinen tutkittavan ionin konsentraation logaritmiin. Nernstin kaavaa käyttämällä jännite voidaan konvertoida ionin konsentraatioksi.

Puhdistamolle hankittu anturi sisältää elektrodit ammoniumille, kaliumille ja pH-arvolle sekä sensorin lämpötilan mittaamiseen. Ammoniumtyyppipitoisuutta mitattaessa tarvitaan sensori myös kaliumille. Anturin mittausalueet ovat ammoniumtyypelle kymmenyksestä tuhanteen milligrammaan litrassa ja kaliumille yhdestä tuhanteen milligrammaan litrassa. Kalibrointia suoritettaessa kalibrointiliuokseen lisätään sekä kaliumstandardia että ammoniumstandardia. Standardiliuosten pitoisuudet ovat 39,1 g/l ( $K^+$ ) ja 35,5 g/l ( $Cl^-$ ) kaliumille sekä 14 g/l ( $NH_4-N$ ) ja 14 g/l ( $NO_3-N$ ) ammoniumille.

Anturi asettaa joitakin rajoituksia toimintaympäristölleen ja mittausalueelleen, mutta Luotsinmäen puhdistamolla näitä ei tarvitse ottaa huomioon melko vähäisten vedenlaadun muutosten vuoksi.

### 5.3 Koejärjestelyt

Lokakuussa 2016 Luotsinmäen prosessin ilmastusvaiheeseen asennettiin anturi ammoniumtypen pitoisuusmäärittelyä varten. Laite kytkettiin puhdistamon valvontajärjestelmään pitoisuuden tarkkailemisen helpottamiseksi, ja anturi asennettiin prosessin kolmannen ilmastusaltaan ensimmäisen U-lenkin kuudenteen eli viimeiseen ilmastuslohkoon. Automaatio-ohjaukseen anturia ei kytketty.

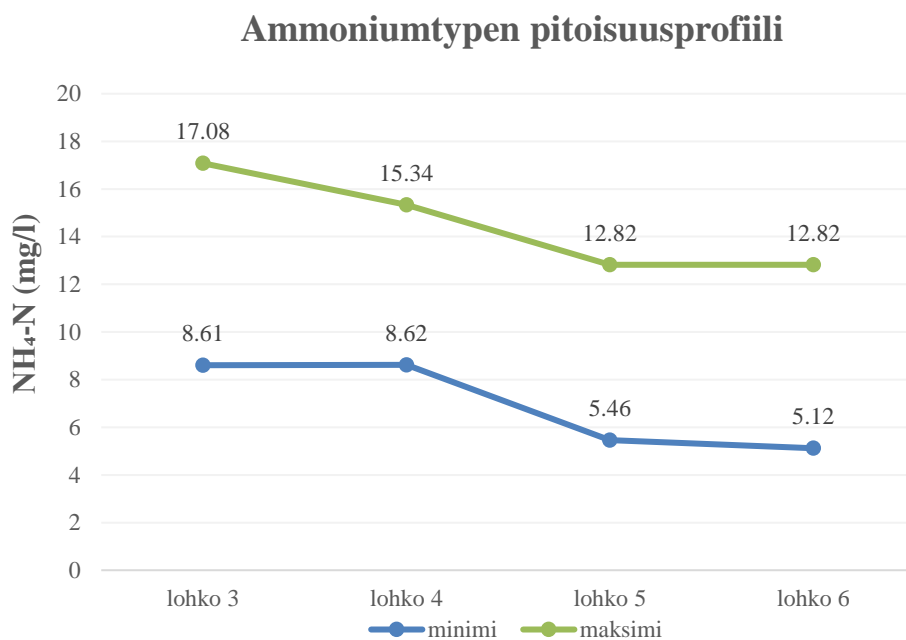
Tutkimus aloitettiin ilmastusaltaan neljännestä lohkoa kolmannen lohkon ollessa vielä pois käytöstä sääolosuhteiden vuoksi. Kolmas lohko otetaan laitoksella käyttöön talvisempien sääolosuhteiden vallitessa. Anturi sijoitettiin vuorotellen ilmastusaltaan lohkoihin 4, 5, 6 ja 3.

Luotettavampien tutkimustulosten saavuttamiseksi anturi sijoitettiin tutkittaviin lohkoihin jokaiseen kahden viikon ajaksi. Kalibrointi ja puhdistus suoritettiin jokaisen uudelleensijoituksen yhteydessä, ja anturi puhdistettiin erikseen jokaisen mittausjakson puolivälissä. Kalibroinnit toteutettiin osittain Luotsinmäen puhdistamon laboratoriossa ja mittauspaikalla. Tunnettuun ammoniumtyppi- ja kaliumpitoisuuteen sekä pH-arvoon perustuva kalibrointiliuos tehtiin puhdistamolta lähtevän veden näytteeseen. Vesinäytteen ammonium- ja kaliumpitoisuudet mitattiin spektrofotometrillä laboratoriossa. Yksi millilitra standardiliuoksia tunnetuilla pitoisuuksilla lisättiin vesinäytteeseen. Kalibroinnin aikana anturin antamat arvot vastasivat luotettavasti laboratorioarvoja antaen ammoniumtyypianturin korkeimmaksi virhearvoksi 2 prosenttia.

#### 5.4 Mittaustulokset

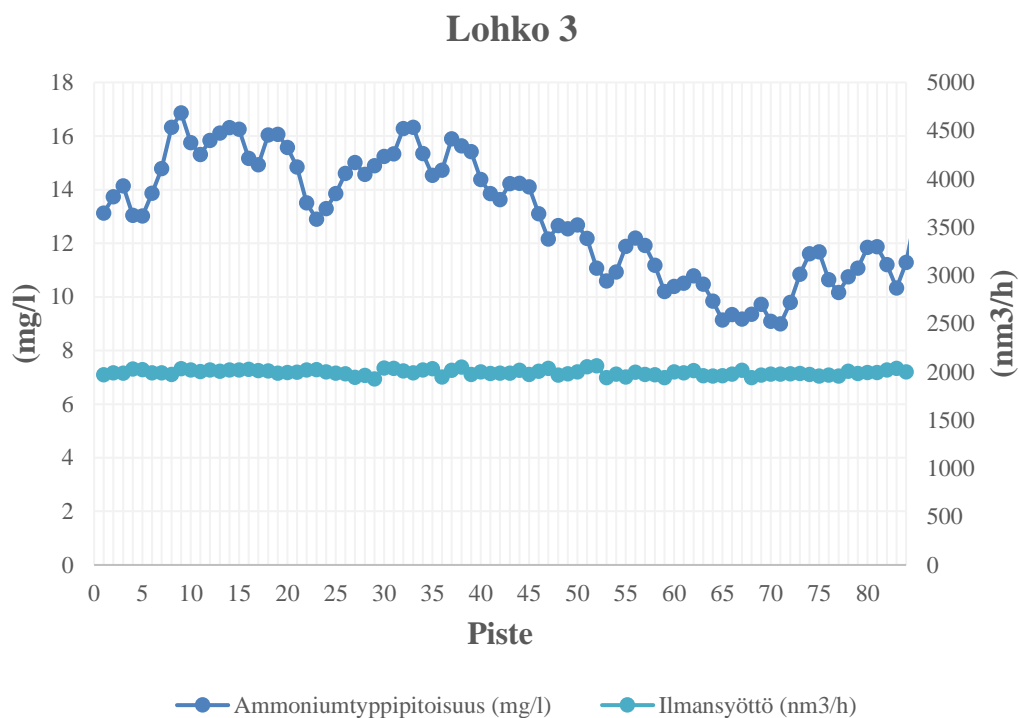
Marraskuun 9. päivänä 2016 alettiin tallentaa mittausdataa tätä tutkimusta varten. Vielä suhteellisen lämpimien sääolosuhteiden vuoksi lohkon 3 ilmastusta ei ollut otettu käyttöön, joten ammoniumtyypianturi asennettiin ilmastusaltaan neljanteen lohkon. Anturin kaksiviikkoiset mittausjaksot tallensivat dataa kunkin mitattavan lohkon ammoniumtyypipitoisuudesta lähes reaaliaikaisesti.

Kuvasta 6 on nähtävissä ammoniumtypen pitoisuuden muuttuminen ilmastusprosessin aikana. Ammoniumtypen pitoisuuden vähentyessä kuvaajan aikana nitraatin määrä vedessä kohoaa. Kuvan 6 mukaan lohkoa 3 lohkon 6 ammoniumtypen maksimiarvo laskee ilmastuksen aikana 25 prosenttia ja minimiarvo lähes 41 prosenttia. Lohkoissa 5 ja 6 ammoniumtypen pitoisuusero on hyvin pieni. Käyrältä voidaan siis nähdä selkeä ero ammoniumtyypipitoisuudessa ilmastuksen hapellisten lohkojen alku- ja loppupään välillä. Liitteessä 9 on esitetty koko mittausjakson aikainen ammoniumtypen pitoisuusprofiili. Suuret hetkelliset muutokset ovat kalibrointeja ja puhdistuksia.



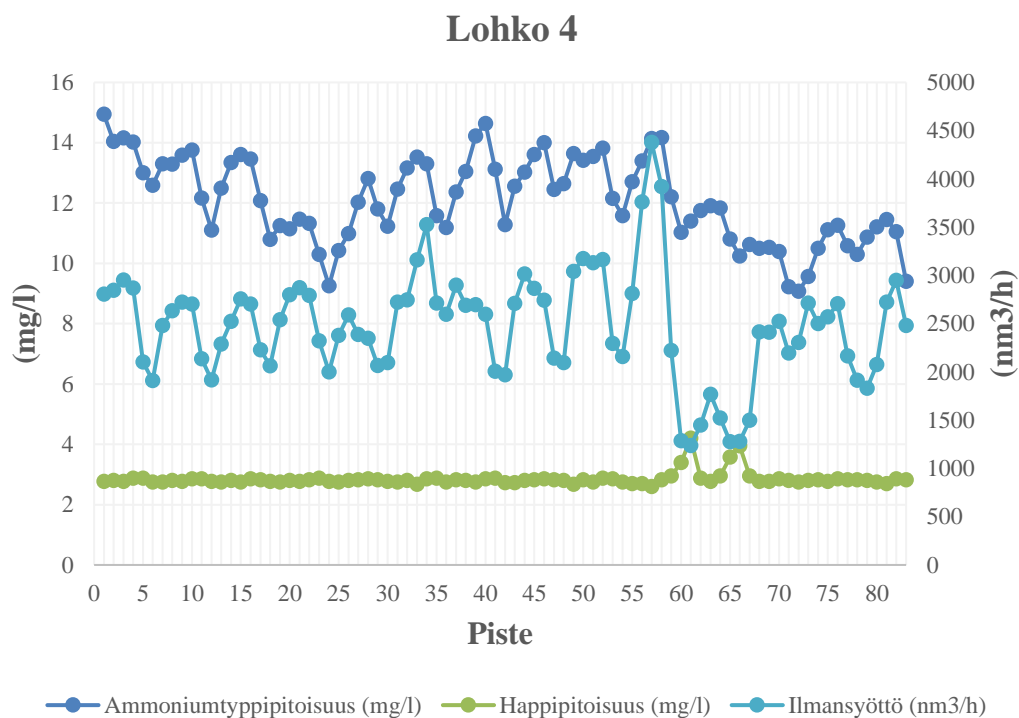
Kuva 6. Ammoniumtypen pitoisuusprofiili ilmastuksen lohkoissa 3-6.

Lohkon 3 ollessa ajoittain hapeton ei sillä myöskään ole happipitoisuusmittausta. Kuvasta 7 nähdään lohkon 3 keskiarvoja laskettuna mittaustuloksista neljän tunnin aikaväleillä. Anturi sijoitettiin lohkoon 21. joulukuuta kahden viikon ajaksi mittaussjakson viimeisenä lohkona, sillä lohkon ilmastus kytkettiin päälle vasta mittaussjakson jo alettua. Mittaustulokset ovat nähtävissä taulukkona liitteessä 1.



Kuva 7. Lohkon 3 ammoniumtyppipitoisuus sekä ilmansyöttömäärät mittauspisteissä.

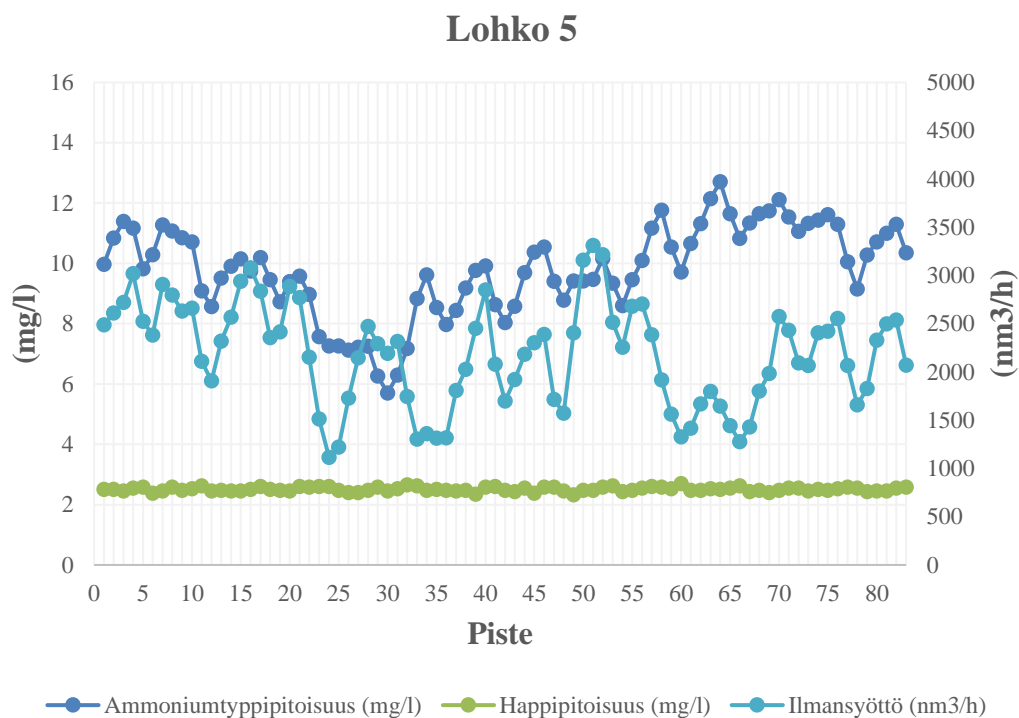
Anturi asetettiin mittaamaan ammoniumtyppipitoisuutta ensin lohkon 4 ajalle 9.–23. marraskuuta. Kuvasta 8 käy ilmi lohkon 4 keskiarvoja laskettuna mittaustuloksista neljän tunnin aikaväleillä. Ammoniumtyppipitoisuus sekä ilmansyöttömäärät piirtävät pitkälti samankaltaista trendiä. Liite 1 selittää mittauspisteiden ajankohdat sekä esittää lukuarvot keskiarvoille.



Kuva 8. Lohkon 4 ammoniumtyppi- ja happipitoisuus sekä ilmansyöttömäärät mitauspisteissä.

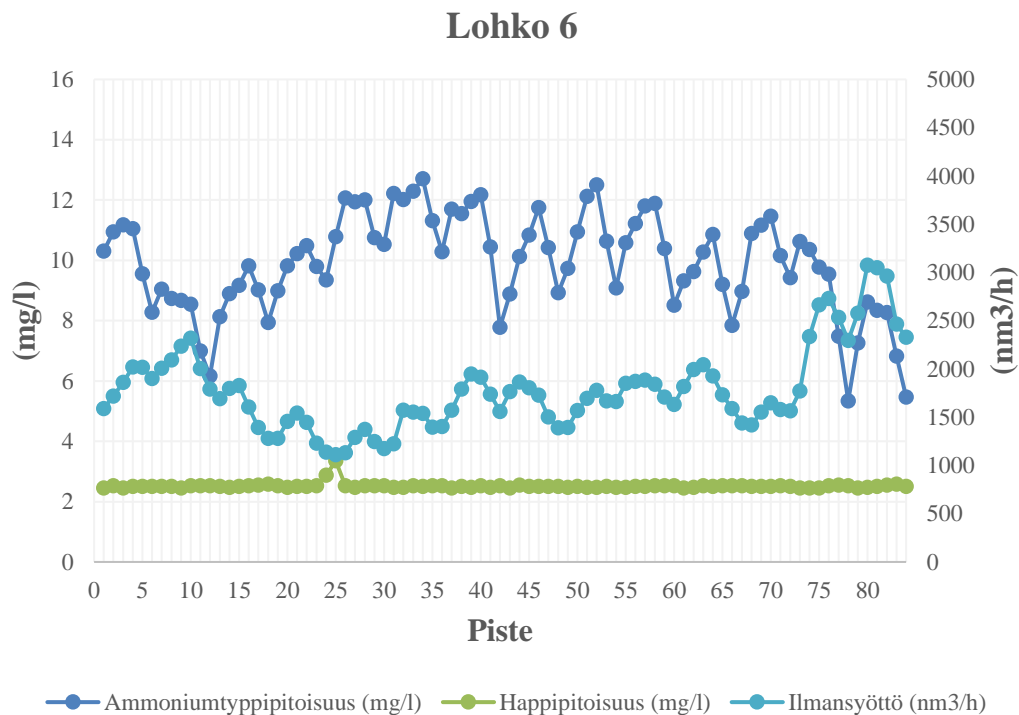
Lohkoon 5 anturi sijoitettiin ajalle 23. marraskuuta–7. joulukuuta. Kalibroinnin jälkeen ammoniumtyyppipitoisuus nousi lohkoista 4 lohkoon 5 11 prosenttia. Kuvassa 9 nähdään lohkon 5 keskiarvoja laskettuna mittaustuloksista neljän tunnin aikaväleillä. On huomattava, että ammoniumtyypin trendi kulkee jo selkeästi matalammalla kuin lohkoissa 4. Liite 2 selittää mittauspisteiden ajankohdat sekä esittää lukuarvot keskiarvoille.





Kuva 9. Lohkon 5 ammoniumtyppi- ja happipitoisuus sekä ilmansyöttömäärät mitauspisteissä.

Lohkoon 6 anturi siirrettiin ajaksi 7. –21. joulukuuta. Kuva 10 esittää lohkon 6 keskiarvoja laskettuna mittaustuloksista neljän tunnin aikaväleillä. Liite 2 selittää mittauspisteiden ajankohdat sekä esittää lukuarvot keskiarvoille. Lohkon ilmastusmäärän voidaan nähdä olevan keskimääräisesti huomattavasti matalammalla tasolla kuin ilmastuksen alkupäässä.



Kuva 10. Lohkon 6 ammoniumtyppi- ja happipitoisuus sekä ilmansyöttömäärät mitauspisteissä.

## 5.5 Haasteet

Mittautuloksia voitiin alkaa kerätä marraskuussa 2016 alkuvaikeuksien selättämisen jälkeen. Luotsinmäen laboratoriossa suoritettujen ammoniumtyypianalyysien tulokset eivät vastanneet asennetun anturin antamia tuloksia kokeellisen osion alkuvaiheessa. Anturin toimittajalta tilattiin kalibrointiliuoksia anturin uudelleenkalibroinnin suorittamiseksi jo ennen mittausjakson aloittamista. Tämä aiheutti epävarmuutta tulevien mittausten luotettavuuteen ja testauksen onnistumiseen. Myöhemmin anturin antamat tulokset vastasivat laboratorion tuloksia, ja kalibroinnissa erot laboratoriotuloksiin olivat minimaalisia.

Ulkotiloissa suoritettavien toimien osalta sääolosuhteet vaikuttivat käyttäjäkokemukseen. Laitteiston toiminnassa näkyviä haittoja ei havaittu lukuun ottamatta laitteiston näytön hitautta kylmällä säällä. Jatkon kannalta sisätiloihin sijoitettu anturi on käyttäjälleen huomattavasti mukavampi. Anturin likaantumisen huomattiin vaikuttavan mittaustarkkuuteen negatiivisesti jo ennen mittausdatan keräämisen alkua, minkä johdosta

anturille suoritettiin viikoittainen puhdistus. Anturin sijoituspaikka jätevedenpuhdistamolla vaikuttaa sen likaantuvuuteen ja puhdistustarpeeseen.

Joulukuun 27. päivänä alueella oli sähkökatkos, joka hetkellisesti muutti mittausarvoja. Tämä ei kuitenkaan merkitsevästi vaikuta mittaustuloksiin.

## 5.6 Tulosten analysointi

Kuten kaikkien testilohkojen kuvaajista on nähtävissä, happipitoisuutta pidetään ilmastuksessa vakiona ja ilmansyöttöä säädetään tavoitehappiarvon saavuttamiseksi veden laadun ja muiden tekijöiden vaihdellessa. Kussakin lohkoissa happipitoisuuden asetusarvo on lohko-kohtaisen hapentarpeen muutoksen vuoksi omanlaisensa. Mikäli ilmastusta ohjattaisiin ammoniumtyypianturin avulla, vaihtelisi ilmastusaltaisiin syötettävän ilman sekä hapen määrä sellaisella alueella, jolla typenpoisto olisi tehokkainta kulloisellakin ammoniumtypen pitoisuudella.

Ilmansyöttö ja ammoniumtyypipitoisuudet piirtävät jokseenkin samanlaista trendiä. Kuvasta 10 voidaan nähdä tilanne, jossa yleisesti ilmansyötön vaihdellessa myös ammoniumtypen määrä vedessä vaihtelee, mutta veden happipitoisuus pysyy melko samanlaisena. Ilmaa ei tarvitse syöttää happitason ylläpitämiseksi enää yhtä paljon kuin aiemmissa lohkoissa. Ylimääräilman syöttö ilmastuksen loppupäässä ei palvele puhdistus- eikä resurssitehokkaasti. Kuvaa 8 katseltaessa voidaan päätellä veden laadun vaihtelevan; happipitoisuus kohoaa, vaikka ilmastusilmaa syötetään vähemmän. Samalla myös ammoniumtypen määrä vedessä laskee. Korkean happipitoisuuden jälkeen ammoniumtypen pitoisuus laskee entisestään. Mittausvirheiden mahdollisuus on kuitenkin pidettävä mielessä.

Ilmastusaltaiden vesien sisältäessä vielä runsaasti lika-ainesta ja anturin ollessa ilmastusaltaiden eri lohkoissa ilman puhdistinta, oli viikoittainen puhdistus tarpeen luotettavien tulosten saamiseksi. Liitteen 6 kuviossa huomattava muutos lukemissa on tulosta puhdistuksesta. Anturi sijaitsee yhä lohkoissa 4, mutta puhdistuksen jälkeen lukema laskee lähes 18 prosenttia. Liitteen 7 kuviossa anturi puhdistetaan lohkoissa 5. Puhdistuksen jälkeen lukema laskee 8 prosenttia. Liitteessä 8 anturi sijaitsee lohkoissa

6, ja puhdistuksen jälkeen anturin lukema laskee 14 prosenttia. Anturi puhdistetaan viimeisen kerran liitteessä 5 sen sijaitessa lohossa 3. Puhdistuksen jälkeen anturin mittaama ammoniumtyppipitoisuus on 6 prosenttia pienempi kuin ennen puhdistusta. Jo viikon aikana anturin likaisuusaste on siis noussut vaikuttaen sen mittaustarkkuuteen muuttaen mittaustuloksia suuremmiksi. Mikäli anturi sijoitetaan ilmastukseen jatkuvaan käyttöä varten, on paineilmapuhdistimen hankkiminen suotavaa. Luotettavuudeltaan, likaantuminen huomioon ottamatta, on anturi osoittautunut päteväksi.

## 6 ILMASTUKSEN SÄÄTÄMINEN – CASE TURUN KAKOLANMÄKI

Turun Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla aloitettiin vuoden 2014 syksyllä uuden ilmastuksen ohjausmallin kehittäminen vanhan perinteisen happiasetusarvoon perustuvan säätötavan rinnalle. Projektin agendana olivat sekä typenpoiston tehostaminen että taloudellisten hyötyjen saavuttaminen. Yhteistyössä Envieno Ky:n kanssa puhdistamon yhteen ilmastuslinjaan suunniteltiin ja toteutettiin ammoniumtyppipitoisuuteen perustuva reaaliaikainen ilmastuksen hapetuksen ohjaus Hyxo Oy:n AN-ISE sc ioni-selektiivisellä ammoniumtyppi-nitraattianturilla. Ammoniumtyppiperusteisesti ohjattua linjaa tutkittiin rinnan referenssilinjan kanssa, jolla säädöt pyrittiin pitämään tasaisena. Ilmamäärän kulutusta ja typpireduktion tuloksia seurattiin, ja ohjausta mukautettiin niiden mukaan sopivien parametrien löytämiseksi. (Tuomi sähköposti 9.5.2017.)

Perinteisessä ohjauksessa koelinja oli referenssilinjaa tehokkaampi typenpoistossa, mutta ilmansyöttömäärät olivat korkeampia. Vertailtaessa koelinjan typpipitoisuuksia referenssilinjan kyseisiin, huomattiin typpipitoisuuksien laskevan, kun ilmastusaltaan ohjaus siirrettiin kokonaan anturin mittaamiin arvoihin perustuvaksi maaliskuun 2015 lopussa. Samalla myös ilman kulutus laski huomattavasti aiemmista korkeista ilmansyöttömääristä referenssilinjan tasolle. Joulukuussa 2015 typenpoistoteho oli jopa 48 prosenttia korkeampi kuin referenssilinjan teho, vaikka virtaamat ja syötetyt ilmamäärät olivat suurin piirtein samalla tasolla. Osatekijänä ilmansyötön vähenemiseen koelinjassa voidaan kuitenkin katsoa olevan tehdyt huoltotoimenpiteet. Oleellista on typenpoistotehon parantuminen, joka perustuu säätötavan nopeampaan reagointiin verrattuna perinteiseen ilmastuksen säätöön. (Tuomi sähköposti 9.5.2017.)

Vuosien 2014–2016 happipitoisuudet koelinjan lohkoissa 4–6 nähdään taulukosta 3. Vuonna 2014 ilmastusta ohjattiin perinteisesti, ja vuoden 2015 maaliskuun lopussa ohjaus vaihdettiin ammoniumtyppiperusteiseen. Keskiarvoista nähdään ammoniumtyppimittaukseen perustuvan ohjauksen vaativan vähemmän hapetta kuin perinteinen ohjaustapa käyttää.

Taulukko 3. Kakolanmäen ilmastuslinjan 1 happipitoisuudet vuosikeskiarvoina.  
(Tuomi sähköposti 9.5.2017.)

<b>Vuosi</b>	<b>Lohko 4 (mg O<sub>2</sub>/l)</b>	<b>Lohko 5 (mg O<sub>2</sub>/l)</b>	<b>Lohko 6 (mg O<sub>2</sub>/l)</b>
<b>2014</b>	2.4	2.6	1.5
<b>2015</b>	1.7	1.5	0.9
<b>2016</b>	1.8	1.4	0.8

Tutkimusten perusteella anturi todettiin luotettavaksi ja toimivaksi käytettävänä ilmastuksessa happipitoisuuden säätöön. Myös tässä tapauksessa säännöllinen kalibrointi ja paineilmapuhdistin todettiin välttämättömiksi anturia käytettäessä ilmastusaltaassa. (Tuomi sähköposti 9.5.2017.)

Kakolanmäen puhdistamolla typpiperusteisen ilmastuksen happipitoisuuden ohjaamisen todettiin olevan kannattavaa, ja se on tällä hetkellä käytössä ilmastuksen neljästä linjasta kolmessa. Vuoden 2017 aikana myös neljäs linja siirretään uuden ohjauksen alle. Tulokset ovat pysyneet melko samanlaisina koekäytön jälkeen. (Tuomi sähköposti 9.5.2017.)

## 7 LAITEHANKINNAN KANNATTAVUUS

Porin Veden toimintakertomuksen (2016) mukaan jätevettä puhdistettiin Luotsinmäellä kyseisenä vuonna 10 554 370 m<sup>3</sup> ja energiaa kului 5 834 452 kWh. Puhdistettua kuutiometriä kohti energiaa käytettiin 0.55 kWh. Pohjoismaisen sähköpörssin mukaisella (Nord Pool 2017) vuoden 2016 sähkön keskiarvoisella, ylöspäin pyöristetyllä Elspot -hinnalla 0,04 €/kWh, ja siihen lisättyllä pyöristetyllä sähkönsiirtohinnalla 0,05 €/kWh, voidaan laskea kaavan (7) mukaan vuoden aikana ostetun, puhdistetun vesimäärän mukaisen energian maksaneen

$$0,09 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 0.55 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} * 10\,554\,370 \text{ m}^3 = 522\,441 \text{ €} \quad (7)$$

Jätevedenpuhdistamojen kuluttamasta energiasta noin 50 prosenttia kuluu ilmastukseen (Hendricks 2006, 987). Näin ollen ilmastuksen osuus energian hinnasta on kaavalla (8) laskettuna

$$522\,441 \text{ €} * 0.5 = 261\,221 \text{ €} \quad (8)$$

Ilmastuskompressorien kuluttama todellinen sähköteho voidaan laskea kaavalla (9)

$$P = \frac{Q * \Delta p}{\eta} \quad (9)$$

jossa       $P$  = sähköteho, kWh  
                $Q$  = ilman tilavuusvirtaama, m<sup>3</sup>/s  
                $\Delta p$  = painehäviö, Pa  
                $\eta$  = kompressorin hyötysuhde

Kuten kaavasta (9) nähdään, sähkön kulutus on suoraan verrannollinen ilmastusilman määrään. Näin ollen oleellista on ilmansyötön määrä, sillä sitä pienentämällä saavutetaan säästöjä sähkön käyttökuluissa. Envieno Ky:n Kakolanmäen testijaksolla ammoniumtyyppiohjauksen avulla ilmansyöttöä saatiin pienennettyä 7 prosenttia (Malmikare & Vieno 2015). Tällaisella ilmansyötön säästöillä, mikäli ammoniumtyyppianturiohjaus

olisi käytössä kaikissa ilmastuksen linjoissa, laskettuna rahallinen säästö vuodessa olisi kaavan (10) mukaan

$$261\,221 \text{ €} * 0.07 = 18\,285 \text{ €} \quad (10)$$

Jo 10 prosentin vuotuisella ilmansyötön vähentämisellä säästöt olisivat kaavan (11) mukaan

$$261\,221 \text{ €} * 0.10 = 26\,122 \text{ €} \quad (11)$$

Vuoden 2014 lukuja käyttäen 10 prosentin säästö ilmansyöttöä vähentämällä olisi samaa suuruusluokkaa.

Testiajoilla saadaan selville kannattavin sijoittelu ilmastusprosessissa. Säästöjen määrä on riippuvainen myös anturiohjauksen laajuudesta; mikäli kaikkiin ilmastuslenkkeihin sijoitettaisiin ammoniumtyypianturi, olisi hyöty luonnollisesti suurempi kuin vain esimerkiksi yhden anturin hankinnalla. Laitehankinnan lisäksi kuluja tuovat automaatioon liittäminen sekä mahdolliset ulkoistetut sähkö- ja asiantuntijatyöt. Laitteiston ylläpitäminen on helppoa ja onnistuu miltei kokonaan yrityksen henkilökunnan työpanoksella, mutta säännöllisiä pieniä kuluja tuovat tavalliseen ylläpitoon liittyvät hankinnat, kuten kalibrointiliuokset.

Envieno Ky:n Turun seudun jätevedenpuhdistamolle vuonna 2015 tekemän ammoniumtyypimittaukseen perustuvan ilmastusohjauksen tuloksena puhdistamon testi-ilmastuslinjan kokonaistyyppipitoisuus oli testijakson aikana parhaimmillaan yli 21 prosenttia matalampi kuin muiden linjojen (Envieno Ky 2015.) Luotsinmäen jo ennestään hyvissä typpireduktioissa tämä muutos ei olisi suuri, mutta epänormaaleissa tilanteissa vaikutus olisi huomattavissa.



## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuormitusvaihtelun aikana happiasetusarvoon perustuva ilmastus ei toimi puhdistustuloksen kannalta parhaalla mahdollisella tavalla. Korkeillakin typpi- ja orgaanisten aineiden pitoisuuksilla jäteveteen syötetään happea vakiopitoisuuteen, jolloin puhdistustulokselliset vaikutukset ovat negatiivisia, jos happipitoisuus ei ole riittävä suhteessa typpi- ja orgaanisten aineiden pitoisuuksiin. Matalilla pitoisuuksilla ilmansyöttö saattaa olla liian korkealla tasolla kuluttaen energiaa turhaan, samalla happipitoisuuden ollessa turhan korkea. Normaalitilanteessa Luotsinmäellä saavutetut puhdistustulokset ovat kuitenkin hyviä perinteisellä säätötavalla.

Ammoniumtyppipitoisuuteen perustuva ohjaus reagoi reaaliaikaisesti kuormituksen muutoksiin, jolloin ilmansyöttöä lisätään ja vähennetään vain tarpeen mukaan, ja energiankulutusta hallitaan kuormituksen mukaan. Esimerkiksi korkeiden ammoniumtyppipitoisuuksien aikana ilmansyöttöä lisätään, ja näin parannetaan puhdistustuloksia. Luotsinmäen prosessiin ammoniumtyppimittaus kannattaisi sijoittaa ilmastusaltaan loppuun, jolloin ohjataan vain altaan loppuosan ilmastusta. Näin vähennettäisiin ylimääräisen hapen kulkeutumista takaisinkierrossa altaan alkuun, ja parannettaisiin typpenpoistotehoa entisestään.

Ammoniumtyppianturin puhdistustarve huomioon ottaen on anturi luotettava oikealla huoltamisella. Hankinnan voidaan katsoa olevan kannattavaa sekä puhdistustuloksesta että taloudellisesta näkökulmasta.

## LÄHTEET

Ammoniakin kansainvälinen kemikaalikortti. 2006. Työterveyslaitos. Viitattu 8.5.2017. <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0414.htm>

Envieno Ky. 2015. Turun Kakolanmäen puhdistamo on tyytyväinen Aeromatic-ohjaukseen. Kirjoitus Vesiuutisvuoto -blogissa 10.9.2015. Viitattu 8.5.2017. <http://www.envieno.com/news/turun-kakolanmaen-puhdistamo-on-tyytyvainen-aeromatic-ohjaukseen>

Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 12.3.2015. Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon ympäristöluvan lupamääräysten tarkistaminen. Dnro 147/04.08/2013.

Hannelius, T. 2015. Waste water purification-kurssin luentomateriaali. Pori.

Hendricks, D. 2006. Water treatment unit processes: Physical and chemical. Florida: Taylor & Francis Group.

Henze M., Harremoes P., Arvin E. & Jansen J. C. 2002. Wastewater treatment: biological and chemical processes. Berlin: Springer.

Isoaho, S. & Valve, M. 1988. Vesikemian perusteet. Helsinki: Otakustantamo.

Karttunen, E. & Tuhkanen, T. 2003. RIL 124-1 Vesihuolto I. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Malmikare, E. & Vieno, P. 2015. Ilmastuksen energiakulutuksen ja typenpoiston optimointi Turun Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla. Esitelmä. Vesihuoltopäivät 2015, 20.5.2015. Turku. Viitattu 8.5.2017. [https://www.vvy.fi/fi/files/4527/04\\_Vieno\\_Pekka\\_Malmikare\\_Esa.pdf](https://www.vvy.fi/fi/files/4527/04_Vieno_Pekka_Malmikare_Esa.pdf)

Mikkola, I. 2017. Porin Vesi Oy toimintakertomus 2016. Viitattu 21.3.2017. [http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/porinvesi/yVhlwsY5h/Porin\\_Vesi\\_toimintakertomus\\_2016.pdf](http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/porinvesi/yVhlwsY5h/Porin_Vesi_toimintakertomus_2016.pdf)

Määttä, R. 1977. Vesiensuojelun kemia ja biologia I. Espoo: Otapaino.

Niemelä, A. 19.6.2008. Luotsinmäen saneeraus, tehostaminen ja laajennus; Prosessisuunnitelma 3669-C9381. Finnish Consulting Group Planeko Oy.

Nord Poolin www-sivut. 2017. Viitattu 22.5.2017. <http://www.nordpoolspot.com>.

Pellikka, K. 2007. Kylmien asumajätevesien typenpoisto. Diplomityö. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.

Porilainen Vesiopas. 2014. Pori: Porin kaupungin ympäristövirasto. Viitattu 27.1.2017. [https://pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/porinvesi/RvHoc9Idj/Vesiopas\\_korjattu\\_verkkoon.pdf](https://pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/porinvesi/RvHoc9Idj/Vesiopas_korjattu_verkkoon.pdf)

Suomen Vesiensuojeluyhdistysten Liitto ry. N.d. Jäteveden ABC. Viitattu 20.3.2017. <https://vesiensuojelu.fi/jatevesi/jateveden-abc/>

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2015. Maatalouden vesiensuojelu. Viitattu 21.3.2017. <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Maatalous>

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2017. Yhdyskuntien ja haja-asutuksen vesiensuojelu. Viitattu 20.3.2017. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Yhdyskunnat\\_ja\\_hajaasutus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Yhdyskunnat_ja_hajaasutus)

Tuomi, J. Opinnäytetyö Porin Vesi Oy – Ammoniumtyppi. Vastaanottaja: Keitaanpää, N.-M. Lähetetty 9.5.2017 klo 10.00. Viitattu 9.5.2017.

VAHTI-valvontatietojärjestelmä. Valtion ympäristöhallinnon www-sivut. 2017. Viitattu 7.4.2017. <https://www.ymparisto.fi>

# LIITE 1

Taulukko 4. Lohkon 3 mittaustulokset neljän tunnin keskiarvoina.

Piste	Aikaväli	Ilmamäärä (nm <sup>3</sup> /h)	Happipitoisuus (mg/l)	Ammoniumtyp- pitoisuus (mg/l)
1	16-20	1971.00		13.12
2	20-24	1988.75		13.74
3	00-04	1986.25		14.14
4	04-08	2030.00		13.04
5	08-12	2023.50		13.02
6	12-16	1990.50		13.87
7	16-20	1990.25		14.79
8	20-24	1973.00		16.33
9	00-04	2032.75		16.86
10	04-08	2019.75		15.75
11	08-12	2003.00		15.31
12	12-16	2019.00		15.84
13	16-20	2006.25		16.12
14	20-24	2021.00		16.32
15	00-04	2021.00		16.25
16	04-08	2027.00		15.17
17	08-12	2013.25		14.92
18	12-16	2011.00		16.04
19	16-20	1987.50		16.06
20	20-24	1994.75		15.57
21	00-04	1998.00		14.84
22	04-08	2020.00		13.51
23	08-12	2022.75		12.90
24	12-16	1999.25		13.29
25	16-20	1987.00		13.85
26	20-24	1981.25		14.61
27	00-04	1944.25		15.02
28	04-08	1964.75		14.57
29	08-12	1927.25		14.90
30	12-16	2041.50		15.24
31	16-20	2037.50		15.33
32	20-24	2010.00		16.27

33	00-04	1991.50		16.33
34	04-08	2021.00		15.35
35	08-12	2034.00		14.53
36	12-16	1948.50		14.72
37	16-20	2018.25		15.89
38	20-24	2050.25		15.64
39	00-04	1972.75		15.41
40	04-08	2000.50		14.38
41	08-12	1984.00		13.86
42	12-16	1986.00		13.62
43	16-20	1986.25		14.22
44	20-24	2015.75		14.24
45	00-04	1973.50		14.11
46	04-08	2007.75		13.10
47	08-12	2035.50		12.16
48	12-16	1966.25		12.66
49	16-20	1980.75		12.54
50	20-24	1998.50		12.68
51	00-04	2052.25		12.18
52	04-08	2063.25		11.07
53	08-12	1941.00		10.60
54	12-16	1976.00		10.92
55	16-20	1948.25		11.88
56	20-24	1997.00		12.20
57	00-04	1973.25		11.91
58	04-08	1969.50		11.17
59	08-12	1940.00		10.20
60	12-16	2001.25		10.39
61	16-20	1991.75		10.51
62	20-24	2013.25		10.79
63	00-04	1959.50		10.47
64	04-08	1956.75		9.84
65	08-12	1961.00		9.13
66	12-16	1978.25		9.34
67	16-20	2016.50		9.17
68	20-24	1938.75		9.35
69	00-04	1967.00		9.72
70	04-08	1976.75		9.09
71	08-12	1977.25		8.99

72	12-16	1980.25		9.79
73	16-20	1982.00		10.85
74	20-24	1974.25		11.61
75	00-04	1957.75		11.68
76	04-08	1965.75		10.64
77	08-12	1958.50		10.16
78	12-16	2008.25		10.75
79	16-20	1983.50		11.07
80	20-24	1993.25		11.84
81	00-04	1993.00		11.88
82	04-08	2021.50		11.21
83	08-12	2036.50		10.33
84	12-16	2000.25		11.2875
85	16-20	2048		13.07
86	20-24	2028		15.10

## LIITE 2

Taulukko 5. Lohkon 4 mittaustulokset neljän tunnin keskiarvoina.

Piste	Aikaväli	Ilmamäärä (nm <sup>3</sup> /h)	Happipitoisuus (mg/l)	Ammoniumtyp- pitoisuus (mg/l)
1	12-16	2804.75	2.78	14.95
2	16-20	2845.50	2.80	14.04
3	20-24	2953.75	2.78	14.17
4	00-04	2869.75	2.88	14.02
5	04-08	2103.00	2.88	13.00
6	08-12	1909.25	2.75	12.59
7	12-16	2482.50	2.75	13.30
8	16-20	2633.75	2.80	13.29
9	20-24	2722.25	2.78	13.59
10	00-04	2702.75	2.85	13.76
11	04-08	2135.75	2.85	12.17
12	08-12	1916.75	2.78	11.10
13	12-16	2290.25	2.75	12.49
14	16-20	2524.25	2.80	13.34
15	20-24	2756.25	2.75	13.61
16	00-04	2702.75	2.85	13.46
17	04-08	2227.50	2.83	12.08
18	08-12	2064.25	2.78	10.80
19	12-16	2540.25	2.75	11.25
20	16-20	2800.75	2.80	11.15
21	20-24	2872.75	2.78	11.47
22	00-04	2793.25	2.83	11.33
23	04-08	2321.00	2.88	10.30
24	08-12	2001.00	2.78	9.26
25	12-16	2379.00	2.75	10.43
26	16-20	2589.50	2.80	10.99
27	20-24	2387.00	2.83	12.02
28	00-04	2348.00	2.85	12.81
29	04-08	2066.25	2.83	11.80
30	08-12	2096.25	2.78	11.23
31	12-16	2724.00	2.75	12.47
32	16-20	2747.00	2.80	13.16
33	20-24	3160.75	2.68	13.52

34	00-04	3525.25	2.85	13.30
35	04-08	2714.50	2.88	11.58
36	08-12	2597.75	2.75	11.19
37	12-16	2900.50	2.83	12.37
38	16-20	2690.00	2.80	13.04
39	20-24	2698.25	2.75	14.22
40	00-04	2598.50	2.85	14.64
41	04-08	2006.75	2.88	13.12
42	08-12	1969.25	2.73	11.29
43	12-16	2709.25	2.73	12.56
44	16-20	3016.75	2.80	13.02
45	20-24	2867.50	2.83	13.61
46	00-04	2742.75	2.85	14.00
47	04-08	2143.75	2.83	12.45
48	08-12	2097.50	2.80	12.64
49	12-16	3042.50	2.68	13.64
50	16-20	3175.25	2.83	13.42
51	20-24	3131.75	2.75	13.55
52	00-04	3164.75	2.88	13.82
53	04-08	2296.00	2.85	12.15
54	08-12	2157.75	2.75	11.58
55	12-16	2812.75	2.70	12.71
56	16-20	3760.25	2.70	13.39
57	20-24	4377.75	2.60	14.14
58	00-04	3920.25	2.83	14.17
59	04-08	2223.75	2.95	12.21
60	08-12	1287.25	3.40	11.03
61	12-16	1235.50	4.20	11.40
62	16-20	1449.25	2.88	11.76
63	20-24	1767.50	2.78	11.91
64	00-04	1523.50	2.95	11.84
65	04-08	1276.00	3.58	10.81
66	08-12	1279.50	3.95	10.25
67	12-16	1499.75	2.95	10.63
68	16-20	2413.25	2.78	10.50
69	20-24	2412.00	2.78	10.53
70	00-04	2525.50	2.85	10.40
71	04-08	2196.75	2.80	9.23
72	08-12	2305.00	2.75	9.08



73	12-16	2711.75	2.80	9.57
74	16-20	2501.25	2.83	10.50
75	20-24	2571.75	2.78	11.12
76	00-04	2707.00	2.85	11.26
77	04-08	2167.25	2.83	10.59
78	08-12	1914.50	2.83	10.29
79	12-16	1831.00	2.80	10.87
80	16-20	2076.25	2.75	11.21
81	20-24	2722.25	2.70	11.46
82	00-04	2950.00	2.85	11.05
83	04-08	2482.25	2.83	9.40

# LIITE 3

Taulukko 6. Lohkon 5 mittaustulokset neljän tunnin keskiarvoina.

Piste	Aikaväli	Ilmamäärä (nm <sup>3</sup> /h)	Happipitoisuus (mg/l)	Ammoniumtyp- pitoisuus (mg/l)
1	12-16	2487.50	2.50	9.97
2	16-20	2609.50	2.50	10.84
3	20-24	2720.00	2.45	11.39
4	00-04	3018.75	2.55	11.16
5	04-08	2524.00	2.58	9.82
6	08-12	2380.50	2.38	10.29
7	12-16	2905.75	2.45	11.28
8	16-20	2795.00	2.58	11.08
9	20-24	2630.75	2.48	10.85
10	00-04	2660.50	2.53	10.72
11	04-08	2110.25	2.63	9.09
12	08-12	1907.25	2.45	8.57
13	12-16	2317.00	2.48	9.51
14	16-20	2566.25	2.45	9.90
15	20-24	2939.50	2.45	10.14
16	00-04	3077.75	2.50	9.75
17	04-08	2835.50	2.60	10.20
18	08-12	2354.00	2.50	9.46
19	12-16	2415.00	2.48	8.72
20	16-20	2885.25	2.45	9.39
21	20-24	2769.00	2.60	9.58
22	00-04	2153.25	2.58	8.97
23	04-08	1513.00	2.60	7.57
24	08-12	1115.50	2.60	7.26
25	12-16	1219.25	2.48	7.26
26	16-20	1727.00	2.40	7.13
27	20-24	2147.00	2.40	7.22
28	00-04	2471.50	2.48	7.25
29	04-08	2293.00	2.58	6.26
30	08-12	2192.75	2.45	5.70
31	12-16	2313.75	2.53	6.30
32	16-20	1744.00	2.65	7.18
33	20-24	1302.25	2.63	8.84

34	00-04	1360.25	2.48	9.61
35	04-08	1312.25	2.50	8.54
36	08-12	1316.25	2.48	7.97
37	12-16	1806.50	2.45	8.44
38	16-20	2027.25	2.48	9.19
39	20-24	2452.00	2.35	9.77
40	00-04	2850.25	2.58	9.91
41	04-08	2080.25	2.60	8.63
42	08-12	1697.25	2.48	8.04
43	12-16	1921.50	2.43	8.58
44	16-20	2183.75	2.55	9.70
45	20-24	2303.25	2.38	10.37
46	00-04	2389.25	2.58	10.54
47	04-08	1714.00	2.58	9.41
48	08-12	1572.75	2.45	8.78
49	12-16	2403.75	2.33	9.41
50	16-20	3157.75	2.48	9.42
51	20-24	3310.25	2.48	9.47
52	00-04	3214.75	2.58	10.16
53	04-08	2514.00	2.63	9.34
54	08-12	2256.50	2.43	8.60
55	12-16	2679.00	2.48	9.45
56	16-20	2705.00	2.55	10.09
57	20-24	2383.75	2.60	11.17
58	00-04	1918.50	2.58	11.76
59	04-08	1563.75	2.53	10.54
60	08-12	1325.75	2.70	9.71
61	12-16	1414.75	2.48	10.66
62	16-20	1669.25	2.48	11.31
63	20-24	1796.50	2.53	12.15
64	00-04	1645.25	2.50	12.71
65	04-08	1441.25	2.55	11.65
66	08-12	1276.50	2.63	10.82
67	12-16	1428.25	2.43	11.34
68	16-20	1800.25	2.48	11.64
69	20-24	1984.50	2.40	11.74
70	00-04	2572.75	2.48	12.11
71	04-08	2431.75	2.55	11.54
72	08-12	2094.00	2.55	11.06

73	12-16	2066.25	2.45	11.33
74	16-20	2404.25	2.50	11.43
75	20-24	2419.75	2.48	11.61
76	00-04	2552.75	2.53	11.29
77	04-08	2067.50	2.58	10.05
78	08-12	1658.75	2.55	9.15
79	12-16	1827.75	2.43	10.27
80	16-20	2327.75	2.45	10.72
81	20-24	2496.50	2.45	10.99
82	00-04	2537.25	2.55	11.29
83	04-08	2069.25	2.58	10.35

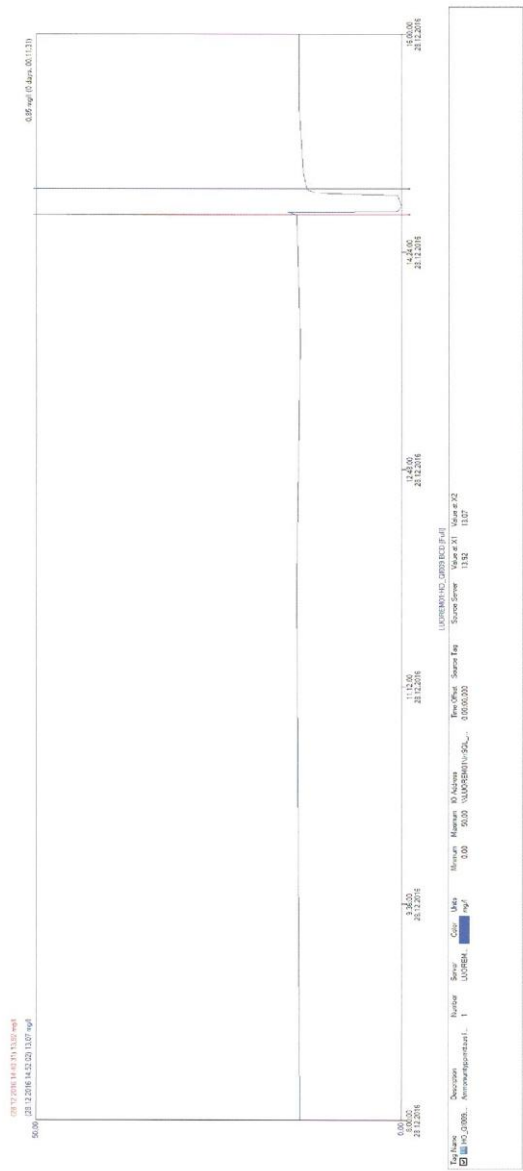
## LIITE 4

Taulukko 7. Lohkon 6 mittaustulokset neljän tunnin keskiarvoina.

Piste	Aikaväli	Ilmamäärä (nm <sup>3</sup> /h)	Happipitoisuus (mg/l)	Ammoniumtyp- pitoisuus (mg/l)
1	12-16	1587.25	2.45	10.31
2	16-20	1719.75	2.53	10.94
3	20-24	1859.75	2.45	11.18
4	00-04	2019.00	2.50	11.06
5	04-08	2015.25	2.50	9.56
6	08-12	1901.00	2.50	8.28
7	12-16	2006.25	2.50	9.05
8	16-20	2093.00	2.50	8.74
9	20-24	2236.00	2.45	8.67
10	00-04	2319.75	2.53	8.54
11	04-08	2003.50	2.53	6.99
12	08-12	1790.75	2.53	6.16
13	12-16	1692.50	2.50	8.13
14	16-20	1799.00	2.48	8.89
15	20-24	1828.25	2.50	9.18
16	00-04	1605.00	2.53	9.82
17	04-08	1393.75	2.55	9.02
18	08-12	1279.75	2.58	7.94
19	12-16	1280.00	2.53	8.99
20	16-20	1456.50	2.48	9.82
21	20-24	1542.75	2.50	10.23
22	00-04	1445.25	2.50	10.48
23	04-08	1231.50	2.53	9.79
24	08-12	1136.75	2.88	9.35
25	12-16	1110.00	3.35	10.79
26	16-20	1132.25	2.53	12.07
27	20-24	1289.25	2.48	11.94
28	00-04	1374.00	2.53	12.00
29	04-08	1246.25	2.53	10.75
30	08-12	1175.50	2.53	10.53
31	12-16	1223.50	2.48	12.22
32	16-20	1572.00	2.48	12.02
33	20-24	1552.75	2.53	12.29

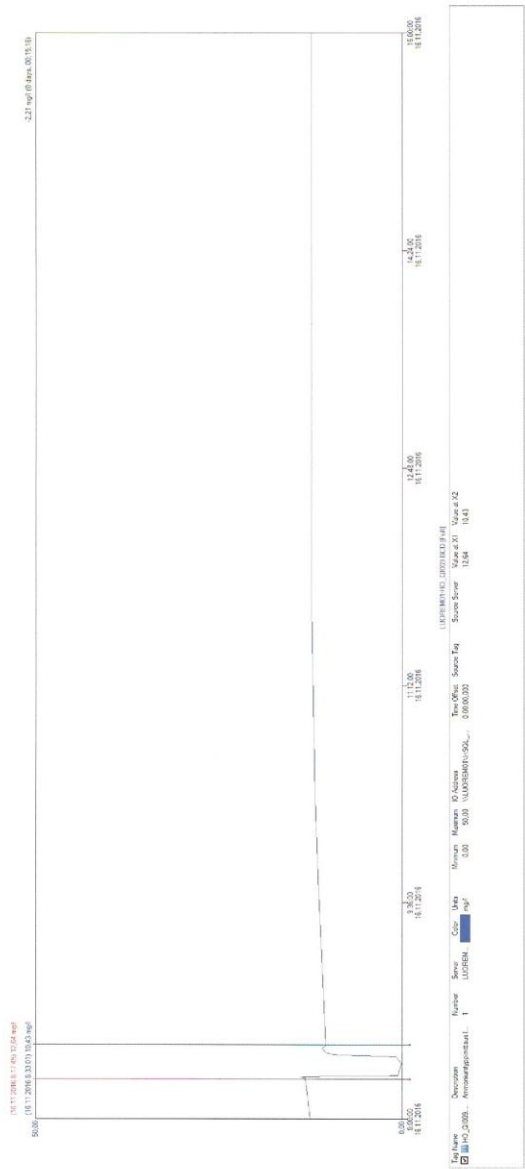
34	00-04	1539.25	2.50	12.71
35	04-08	1395.75	2.53	11.32
36	08-12	1402.25	2.53	10.29
37	12-16	1572.75	2.45	11.70
38	16-20	1791.50	2.50	11.55
39	20-24	1946.50	2.48	11.96
40	00-04	1914.25	2.53	12.17
41	04-08	1737.50	2.48	10.45
42	08-12	1559.25	2.53	7.78
43	12-16	1763.25	2.45	8.89
44	16-20	1864.25	2.55	10.13
45	20-24	1802.75	2.50	10.84
46	00-04	1729.50	2.50	11.75
47	04-08	1501.00	2.50	10.43
48	08-12	1391.25	2.50	8.92
49	12-16	1392.50	2.48	9.73
50	16-20	1568.00	2.50	10.94
51	20-24	1696.50	2.48	12.13
52	00-04	1779.50	2.48	12.51
53	04-08	1668.75	2.50	10.64
54	08-12	1661.00	2.48	9.09
55	12-16	1851.50	2.48	10.58
56	16-20	1869.25	2.50	11.22
57	20-24	1883.75	2.50	11.81
58	00-04	1842.00	2.53	11.89
59	04-08	1708.50	2.53	10.39
60	08-12	1631.75	2.53	8.52
61	12-16	1816.75	2.45	9.32
62	16-20	1994.00	2.48	9.63
63	20-24	2044.75	2.53	10.27
64	00-04	1927.50	2.50	10.86
65	04-08	1730.50	2.53	9.20
66	08-12	1588.75	2.53	7.84
67	12-16	1439.50	2.53	8.97
68	16-20	1418.00	2.50	10.89
69	20-24	1551.50	2.50	11.17
70	00-04	1649.50	2.50	11.47
71	04-08	1578.50	2.53	10.16
72	08-12	1565.75	2.50	9.43

73	12-16	1770.25	2.45	10.62
74	16-20	2335.50	2.45	10.36
75	20-24	2664.50	2.45	9.78
76	00-04	2731.00	2.53	9.54
77	04-08	2534.50	2.55	7.48
78	08-12	2295.75	2.53	5.34
79	12-16	2578.00	2.45	7.26
80	16-20	3076.25	2.48	8.62
81	20-24	3049.00	2.50	8.35
82	00-04	2961.75	2.55	8.27
83	04-08	2466.00	2.58	6.83
84	08-12	2330	2.5	5.465



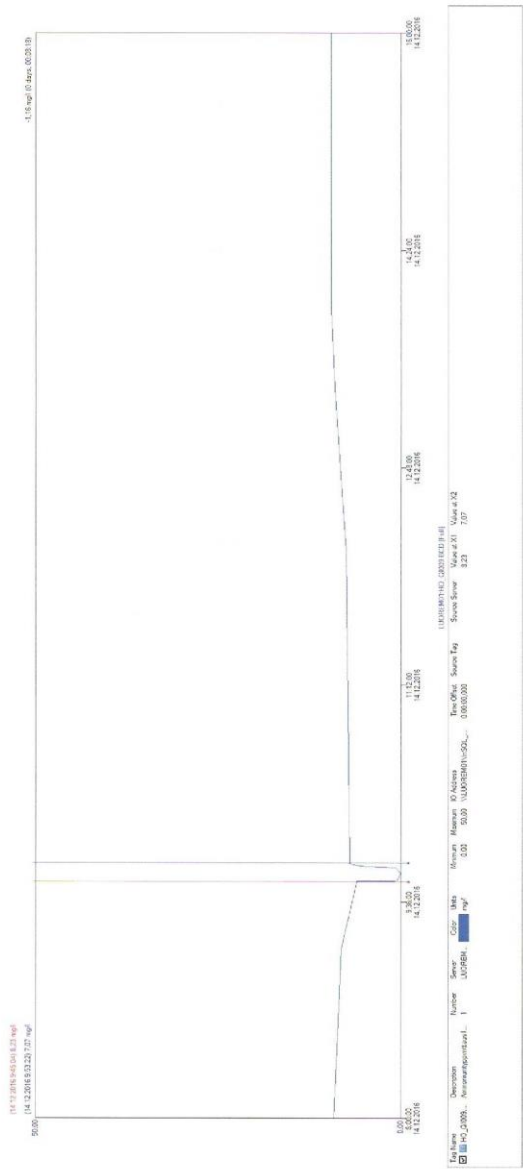
Kuva 11. Ammoniumtyppianturin puhdistus lohossa 3 28.12.2016.



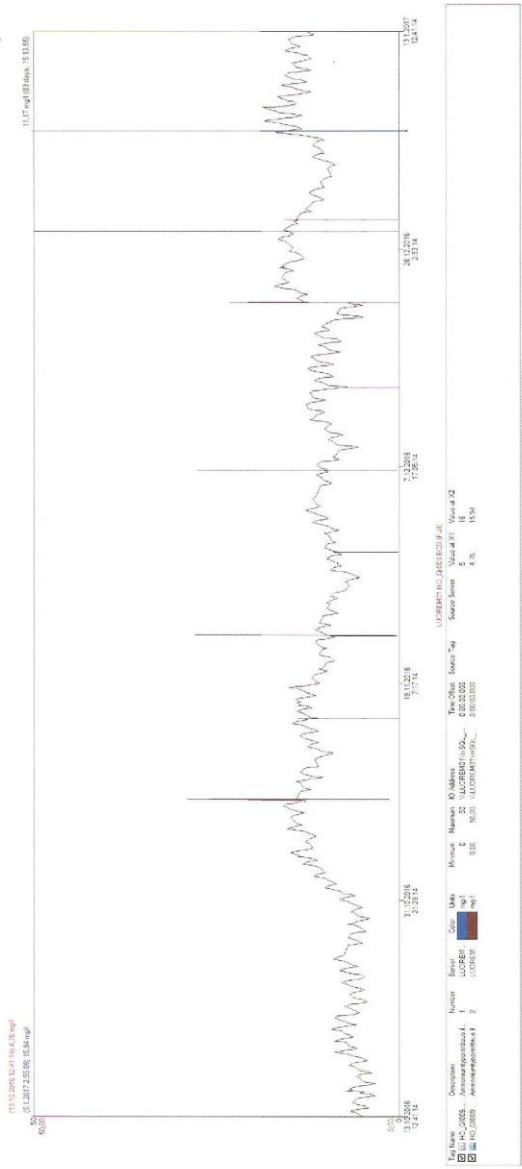


Kuva 12. Ammoniumtypipianturin puhdistus lohko 4 16.11.2016.





Kuva 14. Ammoniumtyppianturin puhdistus lohko 6 14.12.2016.



Kuva 15. Ammoniumtyppipitoisuuden profiili testijaksolta 9.11.2016-5.1.2017.